



Trabajo de Fin de Grado

Grado en Administración y Dirección de Empresas

***EL IMPACTO DE LA INTELIGENCIA
ARTIFICIAL EN LOS MERCADOS
FINANCIEROS: CÓMO LOS ALGORITMOS Y
LA AUTOMATIZACIÓN ESTÁN CAMBIANDO
EL COMPORTAMIENTO DE LOS MERCADOS***

Presentado por:
Víctor Gutiérrez Royo

Tutelado por:
Victoria Ferrández Serrano

Curso académico 2024-2025

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 Definición de inteligencia artificial (IA).....	6
1.2 Historia de la IA en el ámbito financiero.....	7
1.3 Objetivos y alcance del estudio	8
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. Conceptos fundamentales de la inversión.....	9
2.1.1 <i>Machine Learning y Deep Learning</i>	9
2.2 Los sistemas automáticos utilizados en los mercados financieros	11
2.2.1. <i>Trading algorítmico</i>	14
2.2.2. <i>Robo Advisors</i>	15
2.2.3 <i>Predicción de mercados</i>	19
3. IMPACTO DE LA IA EN LOS MERCADOS FINANCIEROS.....	20
3.1. Transformación de los métodos de análisis financiero	20
3.2. Eficiencia en la toma de decisiones y reducción de costes.....	22
3.3. Riesgos asociados a la automatización y algoritmos	24
4. DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES.....	27
4.1. Impacto de la IA en los profesionales financieros	27
4.2. Regulación y control de la automatización.....	30
4.2.1. <i>Supervisión y regulación de los riesgos financieros de la IA: El Papel de la CNMV y el Banco de España</i>	31

4.3. Oportunidades de crecimiento y nuevos modelos de negocio	32
5. ESTUDIO EMPÍRICO: COMPARACIÓN DE MODELOS DE CARTERA.....	34
5.1. Creación de una cartera basada en CAPM y Markowitz	34
5.1.1. <i>Fundamentos teóricos del modelo CAPM y la teoría de Markowitz</i>	34
5.1.2. <i>Aplicación del modelo: selección de activos y cálculo de rentabilidades</i>	41
5.2. Creación de una cartera recomendada por IA.....	49
5.3. Análisis comparativo: Rentabilidad y riesgo durante un período de un año	55
5.4. Desviaciones entre las carteras y evaluación del rendimiento.....	58
6. CONCLUSIONES.....	59
6.1. Resumen de los principales hallazgos.....	59
6.2. Recomendaciones y perspectivas futuras	60
7. BIBLIOGRAFÍA	61
8. ANEXOS	66

RESUMEN

Uno de los pilares fundamentales dentro del mundo de la inversión se basa en la obtención del mayor beneficio posible con las operaciones realizadas. Muchos han sido los investigadores interesados en encontrar las herramientas idóneas para la obtención de predicciones más precisas, ya que estas permitirían lograr un beneficio mayor. En los últimos años, la IA ha experimentado un crecimiento exponencial encontrando aplicaciones en prácticamente todos los ámbitos de nuestra vida. Esto me ha llevado a preguntarme si de verdad su uso puede ser beneficioso a la hora de implementarlo en el sector de las finanzas, y en caso de ser así, cómo se podría llegar a utilizar de manera correcta para poder maximizar su eficiencia y utilidad.

En este trabajo se pretende realizar un estudio acerca de la IA, centrandose en las distintas aplicaciones de la misma dentro del mundo de las inversiones, específicamente en los mercados de valores, la gestión de riesgos y la optimización de carteras. Por tanto, en este artículo, se intentará detallar cómo se emplea actualmente la IA como herramienta de inversión y sus efectos en los mercados financieros investigando cómo sus algoritmos de predicción crean procesos automatizados que podrían estar influyendo en el comportamiento del mercado.

Gracias al análisis en la toma de decisiones financieras mediante un enfoque empírico, el cual compare el rendimiento de una cartera gestionada con métodos tradicionales frente a otra cartera optimizada con algoritmos de IA, nos será posible comprobar las diferencias que puedan llegar a existir entre ambas en cuanto a términos de rentabilidad y riesgo, proporcionando así información clave sobre la efectividad de la IA en la optimización de inversiones.

Palabras Clave: IA, inversión, mercado, cartera, riesgo, análisis, datos, empresa, financiero, inversores.

ABSTRACT

One of the fundamental pillars of the investment world is based on obtaining the greatest possible profit from the operations carried out. Many researchers have been interested in finding the ideal tools for obtaining more accurate predictions, as these would allow for greater profits. In recent years, AI has experienced exponential growth, finding applications in virtually every area of our lives. This has led me to wonder if its use can truly be beneficial when implemented in the financial sector and, if so, how it could be used correctly to maximize its efficiency and usefulness.

This paper aims to conduct a study of AI, focusing on its application in the world of investments, specifically in stock markets, risk management, and portfolio optimization. Therefore, this article will attempt to detail how AI is currently used as an investment tool and its effects on financial markets, investigating how its prediction algorithms create automated processes that could be influencing market behaviour.

By analyzing financial decision-making using an empirical approach, which compares the performance of a portfolio managed using traditional methods versus another portfolio optimized with AI algorithms, we will be able to verify the differences that may exist between the two in terms of profitability and risk, thus providing key information on the effectiveness of AI in investment optimization.

Keywords: AI, investment, market, portfolio, risk, analysis, data, company, financial, investors.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las características del ser humano es potenciar sus propias fuerzas mediante la manipulación de herramientas y el aprovechamiento de los recursos naturales para sus propios fines. La utilización de la fuerza de los animales para labrar la tierra, el empleo del carbón en las máquinas de vapor para el transporte, la utilización del petróleo para el funcionamiento de los motores de explosión o el uso de la energía nuclear para conseguir generar electricidad, son algunos ejemplos de ello.

A su vez, el análisis de situaciones y la toma de decisiones ha sido clave a lo largo de los años para poder prosperar como sociedad. Esta capacidad intrínseca del ser humano lo ha llevado a desarrollar mecanismos los cuales le ayuden a poder analizar estas situaciones y tomar las decisiones correspondientes reduciendo el tiempo de espera con la mayor información posible mediante los razonamientos más lógicos y contrastados posibles.

Por lo tanto, la IA no es completamente ajena a nosotros ya que permite optimizar las capacidades del intelecto humano utilizándolas como recurso para mejorar la búsqueda, la representación y el almacenamiento de conocimiento para así poder generar nuevo conocimiento explorando posibles soluciones a problemas que sin la utilización de estas técnicas, serían difíciles de abordar o requerirían de demasiados recursos.

1.1 Definición de inteligencia artificial (IA)

De acuerdo con lo indicado por el Parlamento Europeo (2020), la IA se define como la capacidad de una máquina para exhibir habilidades similares a las humanas, como el razonamiento, el aprendizaje, la creatividad y la planificación.

Esta tecnología permite que los sistemas perciban su entorno, interactúen con él, resuelvan problemas y actúen con un propósito específico. Las máquinas reciben los datos, ya sea preparados o recopilados a través de sus propios sensores, a continuación los procesan y finalmente responden en consecuencia.

A lo largo de los últimos años, la IA ha cambiado la forma en la que nos relacionamos con nuestro entorno. Se ha incorporado en múltiples sectores de nuestra sociedad y como era de esperar, también ha logrado hacer mella en el sector financiero.

1.2 Historia de la IA en el ámbito financiero

El concepto de IA se debe al informático estadounidense John McCarthy, quien en el año 1956 lo pronunció por primera vez en una conferencia, causando un gran impacto en el ámbito de la tecnología. A partir de entonces es cuando empiezan a publicarse las primeras investigaciones sobre esta rama de la ciencia computacional.

Si nos queremos centrar en la implementación de esta disciplina en el ámbito financiero, hemos de remontarnos a la década de los 80, en la que las entidades bancarias comenzaron a utilizar la IA para mejorar la eficiencia en sus operaciones internas. Esta implementación comenzó con la detección de fraudes, utilizando algoritmos básicos para el rastreo y análisis de transacciones sospechosas.

En 1991, el banco First Direct implementó un sistema basado en reglas predefinidas las cuales ofrecían asesoramiento financiero a clientes al que llamó *Midland Moneysense*, marcando el inicio de la IA como herramienta utilizada para la atención al público. Durante este período, también se utilizó para evaluar riesgos a la hora de conceder préstamos por parte de los bancos a particulares o empresas mediante la implementación de redes neuronales que les permitían tomar la decisión de si el prestatario era apto o no para recibir el dinero.

Pasamos a los años 2000, en los que con la mejora en la capacidad de procesamiento de datos se pudo lograr que la IA comenzara a integrarse en distintas áreas del sector financiero. Gracias a esto se logró una automatización de procesos como, por ejemplo, la verificación de documentos y la gestión de reclamaciones que suponían meros trámites y tareas repetitivas lo cual desencadenó principalmente en una reducción de los costes operativos.

Además, su implementación en el análisis de riesgos mediante la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático o también denominado como *Machine Learning*, permitió evaluar el riesgo crediticio y predecir el comportamiento de los clientes.

La aplicación de la IA mejoró la detección de fraudes mediante la adopción de modelos más avanzados que descubrían patrones de transacciones inusuales en el tiempo real, lo que supuso una reducción significativa de los fraudes financieros.

Situándonos ya un poco más en el contexto actual, a partir de la década de 2010 se ha ido experimentando un crecimiento sin precedentes en el sector de la banca gracias al desarrollo de tecnologías como el *Big Data*, el procesamiento del lenguaje natural (NLP) y el aprendizaje profundo o *Deep Learning*.

Actualmente bancos como BBVA o Banco Santander han incorporado asistentes virtuales basados en IA para mejorar la experiencia del cliente además de algoritmos que analizan el comportamiento financiero de los inversores para ofrecer aquellos productos que encajen mejor con las preferencias de cada uno, además de recomendaciones sobre ahorro, inversión y gastos futuros. Con la creciente digitalización de la banca, el uso de la IA como herramienta será crucial para mejorar la regulación del sector, ayudando a cumplir con normativas de protección de datos y transparencia financiera.

En cuanto al impacto de la IA en el futuro, se espera que esta permita una mayor personalización de los productos financieros, mejorando la toma de decisiones y la seguridad en las transacciones.

1.3 Objetivos y alcance del estudio

El objetivo principal de este trabajo es investigar el uso de la IA como herramienta clave en las estrategias de inversión, así como evaluar su impacto en los mercados financieros. A través de un análisis exhaustivo, se pretende explorar cómo los algoritmos de aprendizaje automático, la automatización de procesos y las tecnologías avanzadas de IA están modificando las prácticas tradicionales de inversión y la toma de decisiones en el ámbito financiero.

La pregunta que nos interesa responder con este trabajo es si resulta útil el uso de IA para elaborar una estrategia de inversión. Por lo tanto, la hipótesis que se tratará de verificar es la siguiente: “La IA puede servir como herramienta útil para la inversión en activos cotizados”.

De igual manera, este trabajo tiene la intención de servir de punto de unión entre el ámbito de la inversión y el ámbito de la IA, ayudando a establecer una base sobre la que se podrán desarrollar investigaciones futuras.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos fundamentales de la inversión

Los inversores operan en el mercado de valores con el objetivo de obtener una rentabilidad, y para ello llevan a cabo una serie de métodos acordes a sus preferencias y conocimientos.

En este sentido, uno de los conceptos básicos a tratar es el mercado de valores. Se corresponde con un tipo de mercado de capitales en donde se opera de forma estructurada sobre la renta variable y la renta fija, por medio de la compra/venta de valores negociables.

También se ha de tener en cuenta el perfil de un inversor. Este se compone del conjunto de rasgos que lo caracterizan, como por ejemplo su tolerancia o aversión al riesgo (capacidad de asumir pérdidas), el horizonte temporal de inversión (duración estimada de esta) o sus expectativas de rentabilidad. La definición del perfil de un inversor determinará el tipo de productos de inversión más apropiados, según el riesgo asociado, la liquidez o los rendimientos que puedan proporcionar.

Otro concepto clave es la cartera de inversión, que hace referencia al conjunto de activos adquiridos y gestionados dentro del mercado de valores. El propósito general de todo inversor será construir una cartera que le permita diversificar lo máximo posible el riesgo derivado de los activos y maximizar de esta forma sus posibles ganancias.

2.1.1 Machine Learning y Deep Learning

El *Machine Learning* y el *Deep Learning* son subcampos que forman parte de la IA y que facilitan el aprendizaje automático mediante algoritmos y redes neuronales.

Machine Learning es un término que hace referencia a la habilidad que tienen las máquinas de aprender, evolucionar y tomar decisiones a través de algoritmos capaces de identificar patrones en grandes bases de datos para aprender de ellos y en consecuencia tomar decisiones.

Hoy en día, esta tecnología está presente en nuestras vidas ya que se encuentra detrás de multitud de aplicaciones de uso cotidiano como, por ejemplo, las recomendaciones de películas en plataformas como Netflix, el reconocimiento facial y de voz de nuestros teléfonos o la capacidad de nuestros automóviles para ser autónomos.

Aunque es incorrecto referirse a la IA como *Machine Learning*, la realidad es que hoy en día prácticamente todos los sistemas de IA dependen en gran medida de este.

Aplicado al mundo de las inversiones, esta tecnología, basándose en un gran número de ensayos, podría elaborar un modelo de predicción lo más ajustado posible al mínimo error y generalizar un comportamiento ya observado. Por ejemplo, al entrenar un modelo con una cantidad de datos suficientes del pasado, este puede ayudar a los inversores a saber cuándo vender o comprar acciones o identificar oportunidades de inversión mediante la predicción del valor de las acciones en el futuro. Más adelante profundizaremos en el tema de la predicción de mercados y analizaremos este aspecto con más detalle.

Por otro lado, el *Deep Learning* es un tipo de *Machine Learning* que emula el aprendizaje humano al estar compuesto por redes neuronales artificiales entrelazadas para el procesamiento de la información. En lugar de organizar datos a través de ecuaciones predefinidas, el *Deep Learning* configura parámetros básicos acerca de los datos y entrena a la computadora para que aprenda por cuenta propia reconociendo patrones mediante el uso de muchas capas de procesamiento. Su uso se aplica en tareas tales como la clasificación de imágenes o el reconocimiento del habla. Sistemas como Siri y Cortana (ambos asistentes virtuales), son potenciados en parte por este tipo de aprendizaje a fondo.

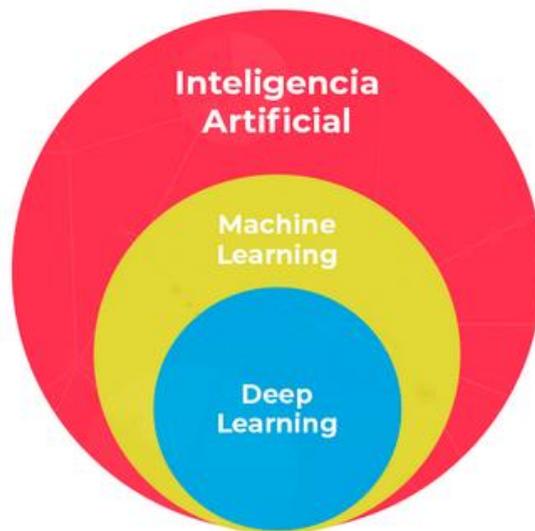


Figura 1: Diagrama que ilustra la relación entre Inteligencia Artificial, Machine Learning y Deep Learning, por Universidad Complutense de Madrid. Fuente: <https://www.masterdatascienceucm.com/que-es-machine-learning/>

2.2 Los sistemas automáticos utilizados en los mercados financieros

Para hablar de los tipos de sistemas automáticos que se utilizan actualmente en el ecosistema financiero primero debemos definir lo que son los sistemas automáticos. Los sistemas automáticos de trading son programas informáticos que ejecutan órdenes de compra/venta en cualquier activo negociable en un mercado financiero. El único input de los sistemas automáticos es el *Market Data*.

El *Market Data* o datos de mercado como concepto general, hace referencia a la herramienta que recopila datos del mercado, del análisis de la competencia y de precios.

Aplicado a la inversión, estos datos de mercado son los datos de trading en tiempo real. Abarcan información como precios, cotizaciones o el volumen de mercado. Los datos de mercado existen para miles de mercados globales, lo que incluye acciones, índices, forex y materias primas.

Es importante destacar el precio del último cruce, también conocido como *Last Price*, ya que es el que usamos como referencia para determinar el precio de un activo. Como este flujo de precios puede ser bastante grande, suele resumirse visualmente en forma de gráfico de velas.

A continuación, veremos un ejemplo del Futuro de IBEX-35 a día (17/11/17) representado con velas de 15 minutos:



Figura II: Gráfico de velas del Futuro del IBEX-35, por Equipo ibroker (2017). Fuente: <https://blog.ibroker.es/anatomia-de-los-sistemas-automaticos/>

El gráfico de velas muestra los precios Apertura-Máximo-Mínimo-Cierre y el volumen de cada período/vela, aunque lo realmente interesante es completarlo con indicadores técnicos.

Estos indicadores son cálculos realizados sobre los datos proporcionados por el gráfico que nos ayudan a analizar e interpretar el mercado y forman la base del análisis técnico.

El ejemplo más común de indicador técnico son las medias móviles, que a través del promedio de los precios de cierre nos permiten analizar tendencias.



Figura III: Gráfico de medias móviles del Futuro del IBEX-35, por Equipo ibroker (2017). Fuente: <https://blog.ibroker.es/anatomia-de-los-sistemas-automaticos/>

Los inversores emplean los datos de mercado para calcular el valor de diferentes activos e informarse sobre las operaciones nuevas y existentes. El objetivo final es conseguir la mayor información posible sobre el activo con el que se planea operar para calcular el riesgo de mercado y el impacto de la publicación de noticias en directo.

Estas órdenes pueden ser realizadas de forma automática por el ordenador o, si el inversor lo prefiere, el ordenador emitirá sólo señales de compra/venta cuando se cumplan las condiciones de mercado adecuadas y establecidas en el Sistema, sin que lleguen a ejecutarse.

Cabe destacar que la psicología influye en la toma de decisiones y esto aplicado al trading suele desencadenar situaciones de tensión, miedo, pánico, alegría o euforia en el inversor.

Ramón Bermejo (2018) afirma que “En el momento en el que arriesgamos nuestro propio capital ya nos está influyendo. Nos genera miedo, ansiedad, nos genera pánico, y también

las ganas de obtener más capital nos hacen ser ambiciosos y querer tomar más posiciones”.

“A la hora de invertir debería haber cero emociones porque en el momento en el que las hay no cumples el plan de trading” Narciso Vega (2018).

Además, los inversores tienden a realizar aquellas operaciones que efectúan los demás individuos, incluso sin tener un conocimiento pleno sobre las mismas. Por lo tanto, compran cuando todos los inversores compran y la bolsa asciende, sin considerar si todavía queda recorrido de incremento de la cotización o si la acción o activo que se está adquiriendo está sobrevalorado.

Es por esto que la principal ventaja de este tipo de trading es que elimina tanto el factor humano como el psicológico, reduciendo los riesgos a su paso, ya que como hemos podido ver, la psicología financiera alude a una serie de conductas humanas típicas y arriesgadas a la hora de invertir.

Una vez entendido lo que es un sistema automático, es importante destacar que aunque los mercados financieros emplean distintos sistemas automáticos, en este trabajo se abordarán concretamente el trading algorítmico también conocido como *Algo Trading* y los *Robo Advisors*, debido a la importancia que tienen en la automatización del trading y en la gestión de inversiones, así como en su creciente impacto en la industria financiera.

2.2.1. Trading algorítmico

El trading algorítmico es hacer trading a través de procesos y una lógica, automatizando tu sistema de trading y ejecutando las operaciones mediante un robot. En pocas palabras, se trata de utilizar algoritmos para ejecutar órdenes de compra/venta en los mercados financieros. Esto permite una mayor eficiencia en dichas operaciones y minimiza el error humano. El mercado sobre el que se opera siempre está determinado antes de empezar, y lo que se hace es esperar a que se den las señales de entrada y salida en este gráfico en particular. Si el sistema da la señal de entrada, el robot ejecutará dicha señal por el inversor, y lo mismo para salir.

Los inversores pueden diseñar un sistema, programarlo y ponerlo a comprar y vender sin necesidad de intervenir tras realizar este proceso. En este proceso, el usuario alimenta instrucciones específicas en el software como podrían ser instrucciones de tiempo para permanecer en una operación, precio de compra/venta, cantidad de acciones a comprar o vender o cualquier otro atributo programable, y le permite realizar transacciones por sí solo. Así pues, es un programa informático el que determina las posiciones que se van a tomar, el sentido de la tendencia, el volumen que se va a operar y, por último, la estrategia que se establecerá.

Otra ventaja derivada de la automatización es que es posible realizar un gran número de operaciones al año, sin la necesidad de estar presente mientras se desarrollan. Si bien los inversores deben definir sus estrategias iniciales, el uso adecuado de estos modelos matemáticos les permitirá automatizar la operativa y optimizar la toma de decisiones.

Aunque a priori sólo encontramos ventajas en este tipo de trading, en ocasiones hay determinados elementos que son fáciles de detectar por el ojo humano, pero difíciles de programar de forma eficiente en algoritmos robustos como las divergencias que son señales que se producen cuando existe una discrepancia entre la acción del precio y un indicador técnico y suelen anticipar posibles cambios en la dirección del mercado, el ajuste visual de indicadores o soportes y resistencias.

Hasta hace poco, este campo era dominio casi exclusivo de las grandes instituciones, pero cada vez hay más recursos para acercar este tipo de trading a los inversores de a pie.

2.2.2. *Robo Advisors*

El origen del término *Robo Advisor* viene de combinar las palabras inglesas robo (robot) y advisor (asesor), es decir, asesor robotizado o automatizado.

Son conocidos también con el término gestor automatizado, ya que, en realidad, aparte de asesorar, gestionan tu dinero sin necesidad de que lo hagas por tu cuenta. Partiendo de esta base, podemos definir este término como una herramienta para la gestión automatizada de inversiones que ofrece un servicio personalizado, ya que se basa en las preferencias del inversor.

Los *Robo Advisors* hacen más fácil crear carteras de inversión personalizadas y adaptadas. La creación y el mantenimiento de las carteras se realizan de manera totalmente automatizada.

El proceso de inversión típico a la hora de implementar su uso consta de tres pasos principales:

En primer lugar, el cliente realiza un test que permite conocer cuáles son sus objetivos financieros, situación patrimonial, conocimientos de inversión y psicología inversora.

Una vez se conoce el perfil inversor del usuario, asigna una cartera de inversión adaptada al nivel de riesgo del mismo.

Por último, el inversor abre su cuenta, realiza la transferencia del capital a invertir y el *Robo Advisor* se encarga del resto, realizando rebalances periódicos y optimizando la inversión mediante algoritmos.

Algunos inversores pueden desconfiar de esta manera de invertir debido a que piensan que la toma de decisiones está completamente automatizada y es un robot el que decide dónde se invierte. Sin embargo, esto no es así en la gran mayoría de los casos ya que en realidad son humanos, expertos inversores, quienes deciden dónde se invierte. Estos, normalmente se guían por estrategias de largo plazo. El robot automatiza todo lo que puede automatizarse con el objetivo de evitar errores, ahorrar costes y simplificar el proceso de inversión.

Con el objetivo de ilustrar su representación gráfica, en este estudio se llevará a cabo un ejemplo real en primera persona, en el cual se podrá evaluar cómo el sistema que emplean los *Robo Advisors* interpreta mis características como inversor tras rellenar un cuestionario y de esta manera ver las diferentes carteras de inversión propuestas.

Las preguntas del test propuestas para evaluar mi perfil de inversión y por lo tanto elegir una cartera que se adapte a mis preferencias y características financieras han sido las siguientes:

- Selecciona tu perfil de riesgo
- Si tu inversión sufriese una pérdida del 5%, ¿qué harías?

- ¿Durante qué plazo aproximado tienes pensado mantener esta inversión?
- ¿Qué porcentaje de tu patrimonio financiero (cuentas, depósitos, fondos de inversión, acciones, etc.) representa el importe que quieres invertir en esta cartera?
- ¿Qué porcentaje de tus ingresos destinas a gastos recurrentes (hipoteca, luz, agua, comida, educación, etc.)?
- ¿Crees que tus ingresos se mantendrán estables en el futuro?
- Quiero que la gestión de mi cartera vaya encaminada a la inversión en...
- ¿Quieres que se tenga en cuenta una materia de sostenibilidad en la composición de tu cartera de inversión?
- ¿Te gustaría que tu cartera estuviese invertida al 100% en fondos de inversión de renta variable?

A continuación, se muestran las respuestas seleccionadas en el test de idoneidad:

- Crecimiento patrimonial asumiendo un nivel de riesgo superior
- Incrementar mi posición
- Entre 5 y 10 años
- Menos del 25%
- Entre el 50% y el 75%
- Sí, estimo que mis ingresos se mantendrán estables
- Fondos indexados o gestión pasiva: replican automáticamente un índice bursátil, como el *S&P 500*
- No
- No, prefiero diversificación

El resultado del test en cuanto a riesgo a asumir por el inversor se sitúa en un 3/5, lo cual supone un riesgo medio alto para el inversor.

En este caso y siguiendo mis preferencias, me ha ofrecido las siguientes alternativas:

Alternativa 1: Cartera híbrida. Las carteras híbridas se caracterizan por la combinación de gestión activa y pasiva, lo que significa que hace una mezcla de fondos indexados los cuales replican índices con fondos gestionados activamente por expertos financieros.

Estas carteras pueden incluir tanto renta variable como renta fija, logrando así un equilibrio entre riesgo y rentabilidad.

Alternativa 2: Cartera indexada. Este tipo de carteras se caracteriza por la gestión pasiva, en la que se invierte en fondos indexados que replican automáticamente índices bursátiles como el *S&P 500* o el *MSCI World*.

Normalmente las carteras indexadas son indicadas para estrategias de inversión a largo plazo y recomendadas para inversores que buscan un crecimiento sostenido sin necesidad de realizar gestión activa.

Alternativa 3: Cartera sostenible. El cumplimiento de diversos criterios ambientales, sociales y de gobernanza son la razón de ser de este tipo de carteras, ya que pueden incluir fondos que priorizan empresas con buenas prácticas ecológicas o un impacto social positivo.

Se recomiendan para inversores con conciencia social y medioambiental que buscan compaginar la rentabilidad con los valores éticos.

Para concluir el análisis de los *Robo Advisors*, cabe destacar que además de ofrecer al inversor carteras ajustadas a sus demandas, también permite realizar una simulación que refleja una proyección estimada de la evolución de la cartera seleccionada, revisar el histórico o la composición de la misma.

2.2.3 Predicción de mercados

Una vez visto cómo funcionan los sistemas automáticos de inversión tales como el trading automático y los *Robo Advisors*, entendemos que estos han revolucionado la manera en la que se opera en los mercados financieros. Sin embargo, para que estos sistemas sean eficaces, necesitan aplicarse junto con herramientas que puedan analizar datos y realizar predicciones a futuro. Es aquí donde entra en juego la predicción de mercados.

La predicción de mercados es una disciplina que combina estadística, modelos matemáticos y técnicas avanzadas de *Machine Learning* y *Deep Learning* (ya comentadas anteriormente en este trabajo), para anticipar el comportamiento de activos financieros y por tanto del mercado.

El objetivo principal de esta metodología es encontrar patrones que se repitan a menudo para ayudar en la toma de decisiones de la compañía, haciéndola más eficaz y permitiendo la anticipación de problemas potenciales que puedan llegar a poner en riesgo el negocio.

Encontramos tres diferentes tipos de datos que los inversores utilizan para analizar las tendencias del mercado, y son los siguientes:

- 1- Datos fundamentales: El análisis fundamental se centra en la salud financiera y el valor intrínseco de las empresas o activos mediante el estudio de su situación económica y factores externos que puedan influir en su valor. Si ponemos como ejemplo el aumento de las ganancias de una empresa, esto podría ser una señal de que esa empresa estaría funcionando bien y por lo tanto, sería una buena oportunidad de inversión. Por otro lado, si la economía experimenta una inflación alta, podría ser una señal de que el mercado es inestable y se debe ser cauteloso.
- 2- Datos técnicos: Son datos financieros utilizados para analizar el comportamiento del mercado. Como hemos visto en el apartado de sistemas automáticos, los datos de mercado también denominados como *Market Data*, son aquellos que nos proporcionan información sobre precios, volúmenes y otros indicadores como medias móviles y osciladores. Si el precio de una acción se mueve por encima de su media móvil, indicaría que existe una tendencia alcista y podría representar una oportunidad de inversión. En cambio si el precio de una acción cae por debajo de

su media móvil, esto nos indicaría que estamos frente a una tendencia bajista, lo que podría llevar a los inversores a evitar dicha inversión.

- 3- Datos alternativos: Los datos alternativos o *Alternative Data*, son aquellos datos que provienen de canales de información no tradicionales como podrían ser los datos obtenidos de redes sociales, y son utilizados por los inversores para evaluar una empresa o inversión más allá de las fuentes tradicionales. Por ejemplo, si el sentimiento en redes sociales sobre una empresa es positivo, podría ser una señal de que la empresa está funcionando bien y por tanto, una buena oportunidad de inversión. Por otro lado, si este sentimiento en redes sociales sobre la misma empresa fuera negativo, podría sugerir problemas para esta y desalentar a los inversores a que se interesen por ella.

3. IMPACTO DE LA IA EN LOS MERCADOS FINANCIEROS

3.1. Transformación de los métodos de análisis financiero

El análisis financiero, como concepto general, hace referencia al estudio que se realiza para conocer el estado y la evolución financiera de una empresa, valor de sus acciones o de mercado. El uso de algunos de los recursos, métodos y herramientas vistas anteriormente sumado a la interpretación que hagamos de la información de la cual se disponga, hará que podamos tener una visión más o menos precisa de la situación financiera.

Cuando realizamos un análisis financiero, lo que estamos haciendo es crear un mapa sobre el cual se asentará nuestra toma de decisiones financieras. El análisis tiene que ser completo, sin dejar de lado ningún apartado que nos permita ver las luces rojas o *Red Flags* que pudieran aparecer durante el estudio. Por otro lado, hay que hacer hincapié en la fidelidad de los datos que nos suministra la contabilidad. Si partimos de unos datos que no son correctos, de poco nos servirá realizar y saber qué es el análisis financiero.

Además, es obligatorio para las empresas presentar sus cuentas anuales, ya que se trata de un requisito legal en la mayoría de las jurisdicciones, y su incumplimiento puede acarrear sanciones. Estas cuentas anuales deben incluir información acerca del balance,

la cuenta de resultados, el estado de cambios en el patrimonio neto, el estado de flujos de efectivo y la memoria. Las cuentas anuales deben reflejar la situación financiera y los resultados de la empresa, ya que no solo son necesarias para la gestión interna, sino también para cumplir con las obligaciones legales y proporcionar transparencia a los accionistas, inversores, autoridades fiscales y otros interesados.

Los métodos de análisis financiero se basan en tres pilares: recopilación, interpretación y evaluación de información de datos. El objetivo es realizar un estudio que permita a los inversores saber a qué escenario se enfrentan, cómo gestionar o prevenir determinados riesgos y en base a esto tomar las decisiones mejor encaminadas para seguir el proyecto personal de inversión.

En cuanto a la recopilación tradicional de datos para el análisis interno de la empresa, el analista dispone de toda la información que es publicada por la empresa.

Por otro lado, el análisis externo se basa principalmente en el posicionamiento o juicio de terceros sobre la empresa. Dado que la posición y actuación de estos terceros (bancos, proveedores, accionistas futuros, etc.) es trascendente para la actuación de las empresas, el empresario deberá considerarlas cuidadosamente a la hora de tomar decisiones estratégicas.

Ahora bien, no es solamente la base informativa la que marca las diferencias fundamentales. Como se ha dicho en ocasiones: «los árboles a veces no dejan ver el bosque». Esta metáfora hace referencia a que de vez en cuando, al enfocarse demasiado en los detalles (los árboles), se pierde la perspectiva general (el bosque). Aplicado al análisis financiero, esto significa que si te concentras demasiado en datos específicos o aspectos particulares de la información financiera, se puede perder de vista la situación global de la empresa.

También es cierto que, en otras ocasiones: «el bosque impide ver con claridad a los distintos árboles que lo componen». Por otro lado, esta frase nos sugiere lo contrario, que al enfocarse demasiado en la visión general (el bosque), puedes pasar por alto detalles importantes (los árboles), que podrían ser cruciales para entender la situación financiera de la empresa.

En resumen, estas frases destacan la importancia de equilibrar la atención entre los detalles y la visión general cuando se realiza un análisis financiero. Es fundamental no perder de vista ni los aspectos específicos ni el panorama completo para tomar decisiones coherentes y acertadas.

La llegada de la IA a este sector ha supuesto una revolución en cuanto a los métodos de análisis utilizados para la toma de decisiones, incorporando tecnologías como el *Machine Learning* y el *Deep Learning*, y reemplazando en gran medida los enfoques tradicionales del análisis financiero por herramientas más avanzadas que están impulsadas por IA.

A continuación se muestra una tabla en la que se puede ver una comparativa entre las características destacadas a tener en cuenta entre ambos métodos de análisis:

TRADICIONAL	IA
FUENTE DE DATOS	
Información histórica y reportes financieros	Big Data, noticias, redes sociales y eventos en tiempo real
METODOLOGÍA	
Análisis fundamental y técnico	Machine Learning y Deep Learning
VELOCIDAD DE PROCESAMIENTO	
Lenta y manual	Automática y en milisegundos
PRECISIÓN	
Dependiente de interpretación humana	Basado en patrones estadísticos
ESCALABILIDAD	
Limitada por la capacidad humana	Altamente escalable

Figura IV: Comparación entre métodos tradicionales y métodos basados en IA. Fuente: Elaboración propia.

3.2. Eficiencia en la toma de decisiones y reducción de costes

Tras revisar la tabla, comprobamos cómo el uso de la IA supone un aumento de eficiencia, velocidad y precisión de nuestros métodos de análisis, pero no debemos olvidar que es fundamental acompañar a esta de mecanismos de supervisión y validación para garantizar

su fiabilidad. La combinación de IA junto con la aplicación del conocimiento humano sigue siendo el método más óptimo para realizar un análisis financiero.

El uso de la inteligencia humana debería ser el primer paso al momento de hacer más efectiva esta toma de decisiones, ya que permite interpretar, contextualizar y cuestionar la información financiera con juicio crítico y experiencia. Es a partir de este primer paso que podremos recurrir a herramientas que nos permitan tomar decisiones de una manera más eficiente, ya que estas nos permitirán optimizar el proceso de toma de decisiones.

Cuando se trata de simplificar el proceso de selección de decisiones, hay que ir eliminando pasos innecesarios y reduciendo no solo los costes económicos, sino también aquellos que no son tan visibles como la pérdida de tiempo o el desgaste mental asociado a procesos largos y complejos.

En cuanto a los costes, estos pueden ser de muchos tipos. En este apartado vamos a centrarnos en los costes financieros, por lo que podemos decir que: “Los costes financieros son los gastos en los que incurre una empresa para obtener y gestionar los recursos necesarios para su funcionamiento, incluyendo intereses sobre deuda, comisiones y otros cargos asociados con la financiación”. Esta idea está alineada con lo que explican autores como Brigham, E. F., y Houston, J. F. (2019), en su libro *Fundamentals of Financial Management* (14ª ed.), en donde se discuten los costes asociados a la estructura de capital y la financiación de una empresa.

En cuanto al empleo de herramientas para mejorar la toma de decisiones, podemos ayudarnos del:

- Uso de simuladores para probar estrategias antes de adentrarnos en los mercados reales.
- Aplicación de modelos de gestión de riesgos como por ejemplo el *Value at Risk* también conocido como VaR, que nos permite conocer el alcance de las posibles pérdidas potenciales financieras dentro de nuestra cartera. Es una forma de medir nuestra exposición al riesgo.
- Implementación de órdenes de pérdidas o *Stop-Loss* y recogida de beneficios o *Take-Profit* para gestionar mejor los riesgos. Una orden de pérdidas es aquella orden que utilizan los operadores para limitar las pérdidas o asegurar las ganancias restantes en una

posición existente. Por otro lado, una orden de recogida de beneficios, es un tipo de orden límite en la que el precio se fija de manera exacta para cerrar la posición y obtener beneficios. Si no alcanza el precio límite fijado, la orden no se ejecuta.

Es importante no olvidar que la toma de decisiones siempre debe ir acompañada previamente de un análisis financiero.

En el apartado dedicado a la predicción de mercados, hemos explorado los métodos clave para realizar un análisis financiero. Cada uno ofrece una perspectiva única y se ajusta mejor a diferentes perfiles de inversión.

- Análisis fundamental
- Análisis técnico
- Trading algorítmico

Una estrategia clave para mejorar la eficiencia en la inversión es reducir los costes sin sacrificar la rentabilidad. Entre las estrategias más efectivas se encuentran:

- *Dollar-Cost Averaging* (DCA), que reduce el impacto de la volatilidad al invertir cantidades fijas periódicamente.
- Priorizar la inversión pasiva frente a la activa, ya que la primera suele ser más eficiente en cuanto a costes a largo plazo se refiere, dado a que la mayoría de fondos activos no superan a los índices.

El uso de una tecnología avanzada, un análisis financiero riguroso y estrategias bien planificadas, harán que mejore la eficiencia de nuestras carteras y también aumentarán nuestras probabilidades de alcanzar los objetivos financieros a largo plazo.

3.3. Riesgos asociados a la automatización y algoritmos

La adopción de las últimas versiones de la IA aplicadas al mercado de valores puede mejorar tanto la gestión del riesgo como la liquidez, pero también tienen el inconveniente de generar opacidad en los mercados, dificultar su supervisión y aumentar su

vulnerabilidad ante ataques cibernéticos o riesgos de manipulación. Esto nos lleva a preguntarnos si en el futuro predominará la eficiencia o la volatilidad en el mercado.

Fondos de cobertura, bancos de inversión además de otras instituciones llevan años utilizando estrategias de negociación que emplean algoritmos automatizados los cuales permiten ejecutar múltiples transacciones a velocidades para las que los humanos no estamos preparados. Estas herramientas han mejorado la eficiencia en la negociación de activos como es el caso de la renta variable estadounidense, pero también han contribuido a episodios de inestabilidad extrema, como el conocido *Flash-Crash*.

Un *Flash-Crash* ocurre cuando el precio de un activo como podrían ser acciones, divisas, criptomonedas o bonos experimenta una caída brusca en un período de tiempo muy corto, luego de ser seguido por una rápida recuperación. Un claro ejemplo de este fenómeno ocurrió el 6 de mayo de 2010, cuando el índice industrial Dow Jones (DJIA) cayó más de 1.000 puntos en tan solo 10 minutos, lo que causó la pérdida temporal de aproximadamente 1 billón de dólares en valor de mercado, episodio que veremos más adelante. Aunque los precios se recuperaron parcialmente al final del día, el evento dejó en evidencia los riesgos asociados a la automatización.

El creciente papel de los sistemas automatizados en el trading es una de las principales causas de estos episodios. Los fallos de software pueden impedir que los datos de mercado se comuniquen de manera eficaz entre las bolsas, lo que puede llevar a la aplicación de precios inexactos a los activos. Además, el aumento del trading algorítmico y de alta frecuencia (HFT), ha intensificado estos episodios en el pasado. Podemos definir el HFT como un tipo de negociación que se lleva a cabo en los mercados financieros mediante herramientas tecnológicas, para obtener información del mercado y en función de la misma intercambiar valores financieros. Los sistemas de alta frecuencia operan a velocidades extremas, ejecutando órdenes basadas en algoritmos ya programados con anterioridad.

Volviendo a lo ocurrido durante el *Flash-Crash* de 2010, los algoritmos de HFT reaccionaron a condiciones inusuales del mercado, por lo que vendieron activos de forma masiva y en consecuencia incrementaron la caída. Este hecho ocurrió debido a que estos sistemas no tienen la capacidad de “entender” el contexto o las consecuencias de sus

acciones, simplemente siguen reglas predefinidas. Además, la falta de liquidez en ese momento amplificó el impacto de las ventas automatizadas.

A continuación se puede ver el impacto que tuvo el *Flash-Crash* detallado hora por hora:



Figura V: Gráfica destello en el mercado Flash-Crash. Fuente: <https://blogs.cornell.edu/info2040/2012/11/09/the-flash-crash/>

Resumen hora por hora del impacto del *Flash-Crash* en el mercado:

09:30 AM – Apertura del mercado: El mercado abre con volatilidad debido a preocupaciones sobre la crisis de deuda en Europa, especialmente en Grecia. Se observa una presión vendedora, pero dentro de rangos normales.

1:00 PM (1) – Medio día: La volatilidad aumenta con el *S&P 500* y el *DJIA* mostrando signos de presión bajista, por lo que se intensifican las preocupaciones por la situación en Europa.

2:30 PM (2) – Comienza el desplome: La caída se acelera cuando los operadores comienzan a vender activos de forma agresiva. Los algoritmos de HFT amplifican el movimiento bajista.

2:42 PM (3) – Recuperación súbita: Los algoritmos detectan precios extremadamente bajos y comienzan a comprar nuevamente. Los índices recuperan gran parte de las pérdidas en menos de 10 minutos.

3:00 PM – Mercado estabilizado: La volatilidad sigue alta, pero los niveles de los índices se han recuperado significativamente. Reguladores y operadores intentan entender qué sucedió.

4:00 PM – Cierre del mercado: El DJIA cierra con una pérdida de aproximadamente 347 puntos, mucho menos de lo que llegó a caer en el punto más bajo del día. Se inicia una investigación sobre las causas del evento.

En resumen, el *Flash-Crash* puso en evidencia los riesgos asociados a la automatización y el trading algorítmico, además de resaltar la falta de regulación en los mercados electrónicos, lo que llevó a cambios en las normas para evitar eventos similares en el futuro.

4. DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES

4.1. Impacto de la IA en los profesionales financieros

Se prevé que en los próximos años se perderán millones de puestos laborales debido al impacto de la IA. Muchas de las profesiones que conocemos hoy en día serán transformadas o reemplazadas, desde el servicio al cliente hasta empleos más especializados como bien podrían ser maestros, traductores, analistas financieros y economistas, contables, personal de marketing, derecho, diseño, publicidad o auditores. Prácticamente todos los sectores se verán afectados, es por ello que quiero tratar el tema de la adaptación laboral.

El principal problema ante el que nos encontramos es que si los empresarios encuentran rentable reemplazar a sus trabajadores por IA y robots, lo lógico es que estos lo hagan, reduciendo de esta manera los costes y aumentando su eficiencia. Sin embargo, esto tiene una consecuencia directa, que es la pérdida masiva de empleos en múltiples sectores. Si demasiadas personas pierden su trabajo, también perderán su fuente de ingresos, y por lo tanto su capacidad de consumo también disminuirá.

Esta sucesión de acontecimientos podría generar un problema económico de gran escala, debido a que si la mayoría de las personas no tiene dinero para gastar, podríamos hacernos la siguiente pregunta: ¿Quién comprará los productos y servicios que las mismas empresas ofrecen? El mercado necesita consumidores, y si estos desaparecen, la economía se verá afectada.

Es bastante probable que los gobiernos sean quienes se preocupen por el desempleo masivo, ya que siendo realistas, los inversionistas y las empresas no toman decisiones basándose en la empatía o en el bienestar social, sino en su rentabilidad. Por eso, los estados serán los encargados de gestionar las consecuencias de esta transformación, enfrentándose a mayores niveles de pobreza, desigualdad y posible inestabilidad social.

Se tendrán que encontrar soluciones para de esta manera evitar un colapso económico, lo que hace que este proceso de automatización sea un desafío complejo y de alto riesgo.

Centrándonos más detenidamente en el sector financiero, cada día surgen nuevos usos de la IA, desde los *Robo-Advisor* que proporcionan una planificación financiera basada en algoritmos, hasta los *Chatbots* y los asistentes digitales. Todos estos afectan a las operaciones financieras y a las competencias laborales que necesitan los profesionales de las finanzas para seguir siendo competitivos en un mercado que está cambiando con la misma rapidez.

Para profundizar en este tema he tomado como referencia una encuesta realizada por la organización KPMG (2023), organización que se encuentra dentro de las cuatro firmas más importantes del mundo en cuanto a servicios profesionales. KPMG opera en 156 países y ofrece servicios de auditoría, asesoramiento legal, fiscal, financiero y empresarial.

El objetivo del estudio en sí trata acerca de cómo la IA está transformando los informes financieros, los desafíos en su adopción y las expectativas de los auditores externos.

Para la obtención de datos, se realizó una encuesta en línea a 210 tomadores de decisiones empresariales en Estados Unidos, pertenecientes a organizaciones con ingresos anuales superiores a mil millones de dólares y con más de 500 empleados. Estos sujetos mencionados como “tomadores de decisiones” a los cuales se les realizó la encuesta, son aquellas personas dentro de las organizaciones, los cuales tienen la autoridad y

responsabilidad de tomar decisiones clave que afectan a la dirección estratégica, operativa y financiera de sus empresas. Estos sujetos suelen ocupar puestos de alto nivel y tienen influencia directa sobre las políticas, inversiones y estrategias de la organización.

Entre ellos se encuentran:

- Directores Financieros
- Controladores
- Directores Ejecutivos de Auditoría
- Directores de Contabilidad
- Jefes de finanzas
- Vicepresidentes Ejecutivos, Vicepresidentes Senior o Vicepresidentes de Finanzas o Auditoría

Los resultados de la encuesta revelan que aproximadamente el 70% de las empresas espera implementar más ampliamente la IA en los próximos 2 años, mientras que el 62% tiene previsto aumentar la inversión en esta tecnología a lo largo del próximo año.

En cuanto a la adopción de IA y *Generative AI* (GenAI), el 65% de las empresas ya utiliza IA en informes financieros, y el 49% está probando o implementando GenAI, un tipo de IA que se enfoca en crear contenido nuevo como texto, imágenes, música o código, a partir de datos existentes.

Las empresas de mayor tamaño (con más de 10.000 empleados) lideran la adopción de estas tecnologías, mientras que las más pequeñas se encuentran rezagadas. Por otro lado, menos del 30% espera que la IA aborde la escasez de personal o el ahorro de costes.

Además, el 61% ha implementado medidas para mitigar los riesgos asociados con el uso de IA y GenAI.

El estudio de KPMG señala la importancia de la supervisión humana, la mitigación de riesgos y la necesidad de marcos regulatorios que garanticen un uso responsable de la IA. Este enfoque por parte de las empresas sugiere que las finanzas van más allá de los cálculos y el análisis cuantitativo. Descifrar el significado del comportamiento humano,

gestionar el riesgo y tomar decisiones estratégicas son tareas igual de importantes y esto requiere de un pensamiento crítico y una intuición que la IA por el momento no es capaz de replicar.

No obstante, aún queda una gran incógnita: ¿Quién se beneficiará realmente de este nuevo escenario? A lo largo de la historia, hemos podido comprobar que el reparto de la riqueza generada por las revoluciones tecnológicas nunca es equitativo. Dada la naturaleza de los sistemas políticos y económicos actuales, es normal preguntarse cuánto de este crecimiento se traducirá en un verdadero avance para la sociedad en su conjunto.

A pesar de esta incertidumbre, lo que es evidente es que las valoraciones actuales del mercado aún no reflejan esta transformación. Hasta ahora, solo las compañías vinculadas directamente con la IA han captado la atención de los inversores, pero el verdadero impacto se sentirá en todos los sectores.

4.2. Regulación y control de la automatización

La regulación es una herramienta que se emplea con el fin de poner orden y dar sentido a la innovación para proteger a los individuos involucrados y garantizar la estabilidad del sistema. El aumento de innovaciones en materia de regulación financiera y su diversidad sirve como trampolín para avanzar en la dirección correcta y crear un ecosistema financiero más estable y mejor supervisado. Esto permitirá prevenir riesgos que podrían amenazar los mercados de capitales en el futuro.

En palabras de Paloma Piqueras (2023), experta en regulación y jefa de regulación y control interno en banca corporativa y de inversión de Banco BBVA: “Actualmente asistimos a una gran cantidad de iniciativas en materia de regulación financiera, comparable a la reforma regulatoria que tuvo lugar tras la gran crisis financiera”. Este esfuerzo regulatorio viene dado por la necesidad de adaptarse a un entorno en constante evolución, en donde la tecnología y la innovación juegan un papel cada vez más relevante.

En su informe “Ampliando los beneficios de la IA generativa: el papel de las políticas fiscales”, el Fondo Monetario Internacional (FMI) advierte que la IA generativa puede conducir a una mayor desigualdad de ingresos y concentración de la riqueza.

“Si bien la IA podría eventualmente impulsar el empleo y los salarios en general, podría dejar a grandes sectores de la fuerza laboral sin trabajo durante períodos prolongados, lo que provocaría una transición dolorosa”, señalaron los economistas Era Dabla-Norris y Ruud de Mooij en la presentación del documento.

En este sentido, el informe del FMI sostiene que la política fiscal tiene un papel importante que desempeñar para respaldar una distribución más equitativa de las ganancias y oportunidades de la IA generativa, pero avisa de que esto requerirá mejoras significativas en los sistemas tributarios y de protección social en todo el mundo.

Las lecciones aprendidas en períodos anteriores sumado a los modelos del FMI sugieren que unos seguros de desempleo más eficaces podrían amortiguar el impacto negativo de la IA en los trabajadores, ya que permitirían a las personas afectadas tomarse el tiempo de encontrar nuevas ocupaciones que se ajustaran mejor a sus habilidades. La mayoría de los países cuentan con un margen considerable para ampliar la cobertura del seguro de desempleo, seguros salariales o mejorar la portabilidad de las prestaciones de los trabajadores a consecuencia del cambio de empleo.

Además, serán necesarios programas de asistencia social, así como programas de aprendizaje, perfeccionamiento profesional y reconversión laboral en los puestos laborales de la era de la IA para aquellos trabajadores que se enfrenten al desempleo a largo plazo, así como para encarar situaciones de baja demanda laboral local debido a la automatización o el cierre de plantas industriales.

4.2.1. Supervisión y regulación de los riesgos financieros de la IA: El Papel de la CNMV y el Banco de España

En un esfuerzo conjunto, técnicos del Gobierno, la Comisión Nacional del Mercado de Valores (CNMV) y el Banco de España han establecido un grupo de trabajo dedicado a examinar el impacto de la IA en el sistema financiero español.

Además de investigar posibles aplicaciones beneficiosas, este equipo tiene la responsabilidad de identificar posibles amenazas potenciales, centrándose en temas como el de la estabilidad financiera, la política monetaria y el funcionamiento ordenado del mercado.

Este esfuerzo se desarrolla dentro de la Autoridad Macropudencial Consejo de Estabilidad Financiera (AMCESFI), y su duración se extenderá debido a la naturaleza dinámica y evolutiva que caracteriza a la IA. La AMCESFI se encarga de prevenir y mitigar el desarrollo del riesgo sistémico y procurar una contribución sostenible del sistema financiero al crecimiento económico. También cuenta con facultades para emitir opiniones, alertas y recomendaciones en materia de análisis y política macropudencial.

Actualmente nos encontramos en un momento en el que recientemente se desbloqueó el Reglamento de la IA a nivel Europeo. Este reglamento clasifica los casos de uso de la IA en función de sus riesgos y, en algunos casos prohíbe aquellos que se consideran de alto riesgo. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos regulatorios internacionales, es indispensable realizar análisis a nivel nacional para comprender el impacto de la IA en diferentes sectores de la sociedad, incluido el financiero.

El ámbito financiero español no es ajeno a las preocupaciones y expectativas en torno a la IA. Si bien existen casos de uso prometedores, como los modelos fundacionales y el aprendizaje automático, la CNMV y el Banco de España advierten sobre los riesgos asociados con la generalización de estas tecnologías entre bancos, inversores y usuarios. Estos riesgos incluyen la posible amplificación de sesgos, la falta de transparencia en la toma de decisiones automatizadas y la exposición a la ciberdelincuencia entre otros.

No solo se busca aprovechar las oportunidades que ofrece la IA, sino también establecer un marco regulatorio y de supervisión que garantice su uso responsable y seguro, protegiendo tanto la estabilidad del sistema financiero como los intereses de los usuarios.

4.3. Oportunidades de crecimiento y nuevos modelos de negocio

Como hemos visto, estamos ante un punto de inflexión en el que no solo transformarán algunos sectores específicos, sino que redefinirá la economía global. En cuanto a las oportunidades de crecimiento, ya hemos profundizado en algunas como por ejemplo:

- 1- La automatización del trading: El HFT y el *Machine Learning* son herramientas que permiten identificar patrones en grandes volúmenes de datos, proporcionando ventajas estratégicas.

- 2- El análisis predictivo y la gestión de riesgos: La implementación de modelos avanzados de aprendizaje automático pueden prever fluctuaciones del mercado, mejorando la toma de decisiones y mitigando los riesgos.
- 3- Personalización de servicios financieros: El uso de *Chatbots* y asistentes virtuales permite mejorar la experiencia del usuario en la gestión de inversiones y finanzas personales, ofreciendo asesoramiento financiero personalizado basado en el comportamiento y necesidades de los clientes.
- 4- Detección de fraude y seguridad financiera: Tecnologías como el reconocimiento facial y biométrico han mejorado la seguridad en operaciones financieras, permitiendo detectar transacciones sospechosas en tiempo real y reduciendo los riesgos de fraude y lavado de dinero.

En cuanto a los nuevos modelos de negocio, el entusiasmo por el potencial transformador de la IA sigue siendo enorme al igual que la inversión en esta tecnología, lo que hace que gigantes tecnológicos como Amazon, Alphabet, Meta y Microsoft inviertan miles de millones de dólares para competir en una carrera por el dominio del mercado. Este gasto tan agresivo se ha comparado con las excesivas inversiones en Internet a finales de los años noventa.

A corto plazo, es probable que haya sobrecapacidad y excesos mientras las empresas experimentan con la IA para determinar cómo utilizarla para obtener ventajas competitivas. Es más, puede que no haya suficiente capacidad energética, materiales básicos o bienes de equipo disponibles para que la expansión de la IA se produzca tan rápidamente como muchos esperan. Es por esto, que se cree que habrá dos ciclos de IA. Ahora estamos en medio de un ciclo de IA de consumo impulsado por la publicidad y es probable que haya un retroceso, pero el ciclo de la IA empresarial será mucho más largo y lento.

Un hito reciente en la evolución de la IA ha sido la reciente irrupción de DeepSeek en el sector. DeepSeek es una herramienta de IA China para la obtención de respuestas complejas y personalizadas, parecido a lo que podría ser ChatGPT.

A pesar de las restricciones impuestas por China en el acceso a la información, su desarrollo demuestra que es posible lograr un mayor rendimiento con menores recursos. En otras palabras, DeepSeek ha encontrado un camino para mejorar significativamente la

eficiencia de la IA empleando una menor capacidad computacional y consumo energético para lograr los mismos resultados que sus competidores.

Destaca por ser de código abierto, lo que significa que cualquier persona puede ver cómo funciona internamente, es totalmente transparente, y se puede instalar de forma local para usarla con total libertad (todo se queda en tu PC). Este avance no es solo una buena noticia para la industria tecnológica, sino para la economía en su conjunto.

Sin embargo, lo realmente interesante de este nuevo escenario no está en las empresas tecnológicas, sino en el resto de la economía. La eficiencia demostrada por DeepSeek no solo hará más rentable la implementación de la IA en tareas específicas, sino que marcará el inicio de una adopción masiva en todas las industrias. Esta expansión, sumada a las inversiones mencionadas anteriormente, generará nuevas oportunidades de negocio y transformará la forma en que operan los sectores tradicionales.

5. ESTUDIO EMPÍRICO: COMPARACIÓN DE MODELOS DE CARTERA

El objetivo principal de este estudio es comparar el rendimiento entre una cartera de inversión basada en la teoría de Markowitz y el CAPM la cual supone una gestión financiera clásica y una cartera impulsada por IA, utilizando algoritmos de predicción y optimización. El análisis comparativo se centrará en varios aspectos pero principalmente en la rentabilidad y el riesgo de cada cartera durante un período de un año.

5.1. Creación de una cartera basada en CAPM y Markowitz

5.1.1. Fundamentos teóricos del modelo CAPM y la teoría de Markowitz

Antes de comenzar a crear la cartera quiero comentar algunos fundamentos básicos sobre la teoría de Markowitz y el CAPM y detallar el motivo por el cual se van a emplear ambas a la hora de realizar el estudio de la cartera de inversión.

La teoría de Harry Markowitz (1952) se basa en la idea de crear carteras eficientes, es decir, combinaciones de activos que minimicen el riesgo para un determinado nivel de rentabilidad esperada. En este contexto, el riesgo se entiende como la volatilidad de los

rendimientos de los activos financieros, y se mide a través de la desviación típica. La diversificación permite reducir el riesgo total de la cartera, ya que combina activos cuyas rentabilidades no se mueven de manera perfectamente sincronizada.

¿Cómo funciona la teoría de Markowitz?

En primer lugar, debemos contar con una serie de datos de rentabilidades, ya sean diarias, semanales, mensuales o el plazo deseado, lo suficientemente amplia para dar validez a los resultados. De ella obtendremos:

- 1- La matriz de correlaciones, es decir, la correlación de los rendimientos de todos los activos por pares.
- 2- Matriz de covarianzas y varianzas: es una matriz similar a la anterior pero que mide la relación en el grado de variación de los rendimientos de todos los activos combinados entre sí por pares.

De todas las combinaciones posibles en la ponderación de los activos, obtendremos todas las carteras posibles. La teoría de Markowitz busca identificar el conjunto de carteras eficientes, que son aquellas que, para un determinado nivel de rentabilidad, representan el menor riesgo posible, o por el otro lado, que para un nivel de riesgo dado, ofrecen la mayor rentabilidad esperada. Si graficamos estas carteras eficientes, situando la rentabilidad en el eje de abscisas y la volatilidad o riesgo en el eje de ordenadas, obtendremos la conocida como frontera eficiente:

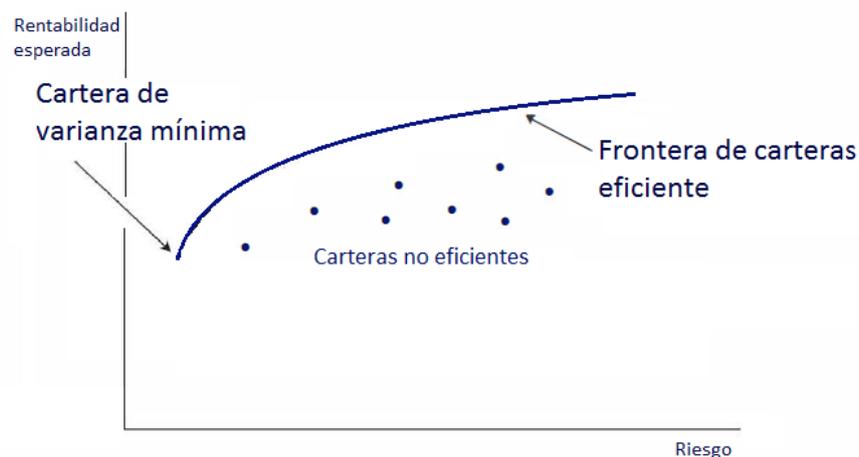


Figura VI: Ejemplo de frontera eficiente con carteras no óptimas. Fuente: <https://economipedia.com/definiciones/frontera-carteras-eficiente.html>

Todas las carteras situadas por debajo de esta frontera se consideran ineficientes, ya que existe alguna otra combinación de activos que ofrece mejores condiciones de rentabilidad o riesgo. Por encima de la frontera eficiente, no existen carteras posibles por definición del modelo, ya que implicarían una relación riesgo-rentabilidad que no puede lograrse mediante las combinaciones disponibles.

Un desarrollo importante de la Teoría de Markowitz es la introducción de la *Capital Market Line* (CML), propuesta por William F. Sharpe en (1964), en su artículo “*Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk*”, donde se enunció también el modelo CAPM (*Capital Asset Pricing Model*), del cual hablaremos más adelante.

La CML representa una evolución del modelo de Markowitz al incorporar un activo libre de riesgo, como por ejemplo las Letras del Tesoro o los bonos del Estado.

Gracias a esto, los inversores pueden construir carteras mixtas que combinan la cartera de mercado con el activo libre de riesgo, replicando cualquier nivel de riesgo deseado. De esta forma, se elimina el riesgo no sistemático, que es el que se puede diversificar, y se trabaja únicamente con el riesgo sistemático, el cual no se puede eliminar mediante diversificación.

La fórmula de la CML es:

$$R_p = R_f + \frac{R_M - R_f}{\sigma_M} * \sigma_p$$

Donde:

- R_p es la rentabilidad esperada de la cartera
- R_f es el tipo de interés libre de riesgo
- R_m es la rentabilidad esperada del mercado
- σ_m es el riesgo de mercado
- σ_p es el riesgo de la cartera

La CML es una línea recta que parte desde el punto de rentabilidad libre de riesgo en el eje de ordenadas y toca tangencialmente la frontera eficiente en el punto correspondiente a la cartera de mercado. Este punto de tangencia representa la combinación óptima de activos de riesgo. A partir de ahí, cualquier inversor puede construir una cartera eficiente ajustando su exposición al riesgo a través de la proporción entre el activo libre de riesgo y la cartera de mercado.

A continuación se puede ver una representación gráfica para poder entenderla mejor:

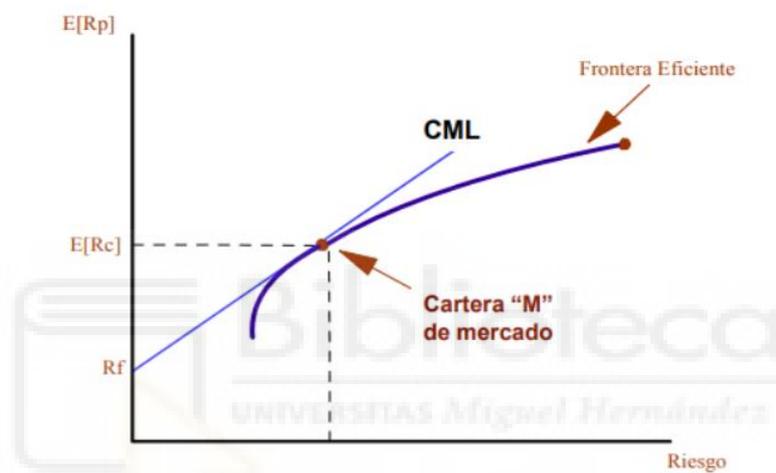


Figura VII: Representación gráfica de la CML. Fuente: <https://www.value4all.es/blog/capm-explicado>

La pendiente de la CML representa el índice de Sharpe, una medida que expresa la rentabilidad adicional que se obtiene por cada unidad de riesgo asumido. Su fórmula es:

$$S = \left(\frac{R_p - R_f}{\sigma_p} \right)$$

Donde:

- R_p es la rentabilidad esperada de la cartera
- R_f es el tipo de interés libre de riesgo
- σ_p es el riesgo de la cartera

Cuanto mayor sea este índice, mejor será la rentabilidad ajustada al riesgo de una cartera.

Por último, el CAPM (*Capital Asset Pricing Model*), es un modelo financiero que estudia la relación entre el riesgo sistemático de un activo y su rentabilidad esperada. Establece que los inversores deben ser compensados solo por el riesgo sistemático, ya que el resto se puede eliminar mediante diversificación.

A diferencia del modelo de Markowitz, este distingue entre:

Riesgo sistemático: También conocido como riesgo de mercado o no diversificable, es aquel que está relacionado con factores económicos, políticos o sociales que afectan a todo el mercado. Es importante destacar que este tipo de riesgo no puede eliminarse.

Riesgo no sistemático: Es aquel riesgo propio de cada activo, y que puede reducirse mediante diversificación.

El CAPM parte de la premisa de que todos los inversores poseen la misma información y tienen expectativas homogéneas respecto al mercado. Además, asume que:

- 1- Los inversores son racionales y aversos al riesgo.
- 2- Pueden invertir y tomar prestado a la tasa libre de riesgo sin restricciones.
- 3- No existen impuestos ni costes de transacción.
- 4- Todos comparten el mismo horizonte temporal.

Una representación gráfica del modelo CAPM se vería de la siguiente manera:

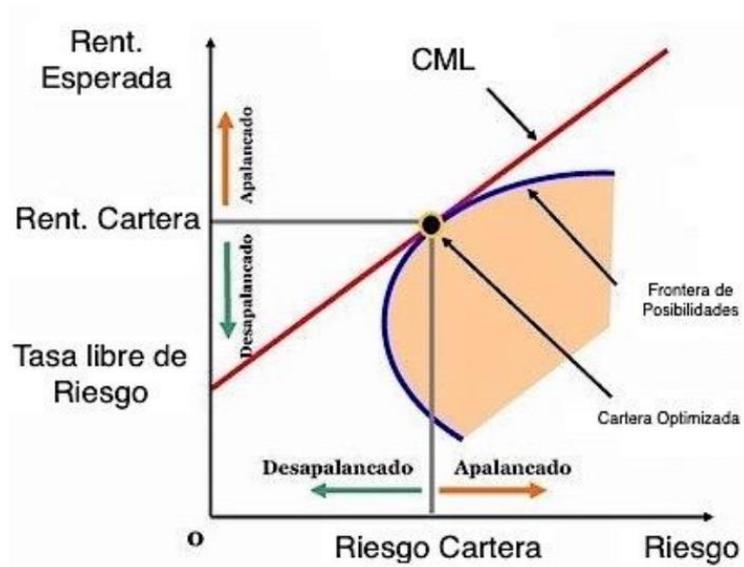


Figura VIII: Representación gráfica del modelo CAPM. Fuente: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/17502/TFG%20Negrete%20Garc%C3%ADa,%20G.pdf?sequence=1>

La frontera eficiente en este modelo será la recta que nace desde la rentabilidad esperada de un activo libre de riesgo, y que pasa tangente a la frontera eficiente de Markowitz.

Este modelo se apoya en la *Security Market Line* (SML), que relaciona la rentabilidad esperada de un activo con su riesgo sistemático, medido por el coeficiente beta (β).

Su fórmula es:

$$R_i = R_f + \beta_i * (R_m - R_f)$$

Donde:

- R_i es la rentabilidad esperada del activo
- R_f es el tipo de interés libre de riesgo
- R_m es la rentabilidad esperada del mercado
- β_i es la Beta o coeficiente de volatilidad

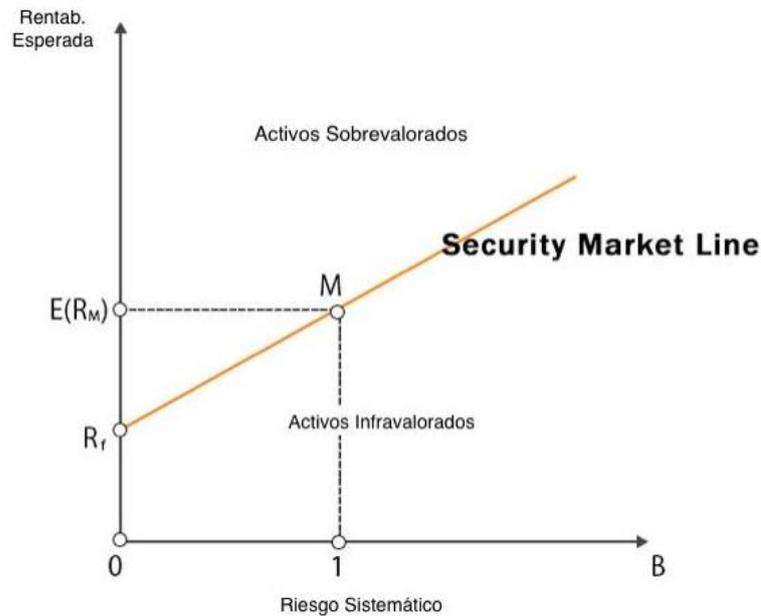


Figura IX: Representación gráfica de la SML. Fuente: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/17502/TFG%20Negrete%20Garc%C3%ADa,%20G.pdf?sequence=1>

Como podemos ver en el gráfico anteriormente representado, la SML divide a los activos en 2 tipos, los activos eficientes que se situarán siempre por encima de la SML, y los activos ineficientes que se situarán por debajo de la recta.

La CML y la SML se diferencian en que:

- 1- La CML representa la relación rentabilidad-riesgo total para carteras eficientes, utilizando la volatilidad como medida de riesgo.
- 2- La SML representa la relación rentabilidad-riesgo sistemático para cualquier activo individual o cartera, usando beta como medida de riesgo.
- 3- La CML muestra únicamente combinaciones eficientes entre el activo libre de riesgo y la cartera de mercado, por lo que sólo incluye carteras óptimas (que sitúen en la frontera eficiente). En cambio, la SML representa la relación entre riesgo sistemático (beta) y rentabilidad esperada para cualquier activo individual o cartera, por lo que en ella pueden aparecer activos eficientes e ineficientes. Esto se debe a que la SML no exige que el activo se encuentre en la frontera eficiente para ser evaluado.

En resumen, la teoría de Markowitz y el CAPM son herramientas complementarias en la gestión moderna de carteras, ya que mientras que Markowitz permite construir carteras eficientes mediante la optimización rentabilidad-riesgo, el CAPM no solo ofrece un marco para valorar individualmente los activos según su riesgo sistemático, sino que también permite calcular la rentabilidad que se debe exigir a cada activo en función del nivel de riesgo sistemático que asume.

5.1.2. Aplicación del modelo: selección de activos y cálculo de rentabilidades

Una vez establecidos los fundamentos teóricos, vamos a proceder a construir una cartera siguiendo los principios del CAPM y de la teoría de Markowitz, aplicando la lógica de rentabilidad-riesgo para la selección y ponderación de activos.

Activos seleccionados para la cartera basada en CAPM y Markowitz:

Indra: Empresa española del sector tecnológico y de consultoría. Su inclusión se justifica por representar un sector cíclico con un perfil de riesgo medio-alto, lo que puede aportar una rentabilidad atractiva a la cartera. Además, al estar en un sector diferente al energético o farmacéutico, contribuye a la diversificación

Ferrovial: Empresa del sector de infraestructuras y servicios, con fuerte presencia en construcción y gestión de infraestructuras de transporte como autopistas y aeropuertos. Su inclusión en la cartera se justifica por su estabilidad, exposición internacional, y su carácter defensivo en momentos de incertidumbre económica. Al pertenecer a un sector distinto al tecnológico y energético, mejora la diversificación sectorial de la cartera.

Iberdrola: Empresa del sector energético, con un enfoque importante en energías renovables. Se selecciona por ser una compañía consolidada que combina estabilidad y crecimiento, y por representar un sector con características distintas a las de tecnología y salud. Su inclusión mejora la diversificación sectorial y permite equilibrar la rentabilidad con un riesgo moderado.

Letras del Tesoro a 3 meses: Activo de renta fija que se incluye por representar el activo libre de riesgo, necesario en la aplicación del modelo CAPM. Su rendimiento sirve como referencia para calcular la rentabilidad exigida a los activos de riesgo. Además, su

incorporación reduce la volatilidad total de la cartera y permite construir combinaciones eficientes siguiendo la *Capital Market Line* (CML).

Una vez seleccionados y justificados los activos, se procederá a aplicar el modelo CAPM y posteriormente la teoría de Markowitz en tres pasos:

Paso 1: Calcular la rentabilidad exigida (CAPM) para cada activo

$$R_i = R_f + \beta_i * (R_m - R_f)$$

Donde:

- R_i es la rentabilidad esperada del activo
- R_f es el tipo de interés libre de riesgo = 1,976% anual (Letra del Tesoro a 3 meses, subasta 13/05/2025)
- R_m es la rentabilidad esperada del mercado = 8% anual (referencia histórica del IBEX 35)
- β_i es la Beta o coeficiente de volatilidad

* El tipo de interés libre de riesgo se ha estimado utilizando el tipo medio adjudicado en la última subasta de Letras del Tesoro a 3 meses, publicadas por el Tesoro Público español. En la subasta del 13 de mayo de 2025, el tipo medio fue del 1,976% anual, y ha sido adoptado como referencia para aplicar el modelo CAPM de forma realista.

ACCIÓN	BETA ESTIMADA	R.EXIGIDA (CAPM)
INDRA	0,87	$1,976+0,87*(8-1,976) = 7,22\%$
FERROVIAL	0,94	$1,976+0,94*(8-1,976) = 7,64\%$
IBERDROLA	0,65	$1,976+0,65*(8-1,976) = 5,89 \%$

Estas cifras representan el rendimiento mínimo exigido por el inversor para compensar el nivel de riesgo sistemático asociado a cada activo, y serán comparadas con la rentabilidad esperada para tomar decisiones de inversión.

* Las betas, volatilidades y correlaciones utilizadas en este estudio han sido obtenidas del Informe Mensual del Mercado Continuo publicado por Bolsas y Mercados Españoles (BME), una fuente oficial y reconocida en el ámbito académico y profesional.

Paso 2: Estimar la rentabilidad esperada de cada activo

Para valorar cada activo y determinar su atractivo para la inversión, se utiliza un doble enfoque que combina la comparación de rentabilidades con un análisis basado en precios teóricos.

- Método tradicional: Rentabilidad esperada vs rentabilidad exigida (CAPM)
- Análisis complementario: Precio teórico vs cotización del mercado

La rentabilidad esperada de cada activo se estima utilizando la media histórica de sus rentabilidades mensuales. Esta se compara con la rentabilidad mínima exigida calculada mediante el modelo CAPM.

- Si $R. \text{ esperada} > R. \text{ exigida} \rightarrow$ Compro (Activo infravalorado)
- Si $R. \text{ esperada} < R. \text{ exigida} \rightarrow$ Vendo (Activo sobrevalorado)

Para trasladar este razonamiento a un criterio más tangible, se calcula el precio teórico del activo a partir de la rentabilidad exigida y los flujos esperados, y se compara con su cotización actual en el mercado.

- Si Precio Teórico $>$ Precio de Mercado \rightarrow Compro (Activo infravalorado)
- Si Precio Teórico $<$ Precio de Mercado \rightarrow Vendo (Activo sobrevalorado)

Esta doble aproximación permite validar la decisión de inversión desde la perspectiva del rendimiento ajustado por riesgo y desde la valoración directa en precios de mercado.

ACCIÓN	R.EXIGIDA (CAPM)	R.ESPERADA	EVALUACIÓN	DECISIÓN
INDRA	7,22%	21,31%	INFRAVALORADA	COMPRAR
FERROVIAL	7,64%	18,78%	INFRAVALORADA	COMPRAR
IBERDROLA	5,89%	13,93%	INFRAVALORADA	COMPRAR

Los resultados indican que, según el CAPM, Indra, Ferrovial e Iberdrola presentan una rentabilidad esperada superior a la exigida, por lo tanto son activos atractivos para la inversión.

* La rentabilidad esperada se ha estimado mediante la media histórica de rentabilidades mensuales, obtenidas de datos históricos extraídos de Investing.com.

Paso 3: Optimizar pesos con Markowitz

Una vez identificados los activos que cumplen con los criterios de inversión del modelo CAPM, se procede a aplicar la teoría de Markowitz para construir carteras eficientes desde el punto de vista rentabilidad-riesgo. Para ello, se incorpora también un activo de libre riesgo, que son las Letras del Tesoro a 3 meses. Este activo aporta estabilidad a la cartera y permite desplazarla hacia posiciones con menor volatilidad.

Los activos finales considerados para la optimización son:

- Indra
- Ferrovial
- Iberdrola
- Letras del Tesoro a 3 meses

ENFOQUE METODOLÓGICO

No se ha considerado una cartera equiponderada, dado que su construcción arbitraria no garantiza su presencia sobre la Frontera Eficiente ni responde a un criterio de optimización basado en riesgo y rentabilidad. En su lugar, y de acuerdo con la teoría moderna de carteras, se han optimizado dos carteras eficientes:

- 1- Cartera de Mínima Varianza: Minimiza la volatilidad total de la cartera sin imponer un objetivo específico de rentabilidad. Es la opción más conservadora dentro de la Frontera Eficiente, adecuada para perfiles de riesgo bajo.
- 2- Cartera con máximo Ratio de Sharpe: Maximiza la rentabilidad ajustada al riesgo, encontrando la combinación óptima entre rentabilidad esperada y volatilidad. Esta cartera se sitúa en el punto de tangencia entre la Frontera Eficiente y la Línea del Mercado de Capitales (CML), que en este estudio se construye combinando activos del IBEX 35 con Letras del Tesoro como activo libre de riesgo.

DATOS UTILIZADOS PARA LA OPTIMIZACIÓN

Se han estimado rentabilidades esperadas anuales y desviaciones típicas (volatilidades), a partir de datos históricos mensuales. La volatilidad (σ) refleja el grado de variación de los precios de un activo en el tiempo, y es un indicador clave para entender el riesgo asociado. En este caso, se ha tenido en cuenta también la diversificación entre activos para estimar la volatilidad agregada de la cartera.

ACTIVO	R.ESPERADA	VOLATILIDAD (σ)
INDRA	21,31%	37,44%
FERROVIAL	18,78%	12,92%
IBERDROLA	13,93%	12,93%
LETRAS DEL TESORO (3 MESES)	1,976%	RIESGO TOTAL CERO

* Las rentabilidades se han calculado utilizando precios de cierre a 02/01/2024 y 31/12/2024.

Las correlaciones entre activos indican cómo se mueven los activos entre sí. Su interpretación es fundamental, ya que la diversificación solo tiene efecto si los activos no están perfectamente correlacionados. Las correlaciones entre los activos han sido calculadas con base en datos recientes, recogidos de fuentes oficiales como BME o Investing.com:

PAR DE ACTIVOS	CORRELACIÓN	INTERPRETACIÓN
INDRA - IBERDROLA	0,365	Moderada-baja
INDRA - FERROVIAL	0,028	Casi nula
IBERDROLA - FERROVIAL	0,061	Casi nula

Una correlación baja implica que los activos tienden a moverse de manera independiente, lo que permite reducir el riesgo conjunto de la cartera al combinarse. Por tanto, el análisis de correlaciones no solo complementa la selección de activos, sino que es esencial para construir carteras diversificadas y eficientes.

DE LA CORRELACIÓN A LA COVARIANZA

Para aplicar la teoría de Markowitz, es necesario calcular la matriz de covarianzas, que refleja el riesgo conjunto entre pares de activos. La covarianza se calcula mediante la fórmula:

$$Cov(i, j) = \rho_{ij} \times \sigma_i \times \sigma_j$$

Donde:

- ρ_{ij} es la correlación entre los activos i y j
- σ_i, σ_j son las desviaciones típicas (volatilidades) de los activos i y j

Esta matriz es clave en programación cuadrática, ya que permite calcular la varianza total de la cartera y optimizar su combinación de activos.

OPTIMIZACIÓN CON SOLVER DE EXCEL

Con los datos de rentabilidad, volatilidad y covarianzas, se emplea programación cuadrática en Excel a través de Solver para obtener la combinación óptima de pesos en cada cartera. Las restricciones utilizadas en la optimización han sido:

- 1.- La suma de los pesos debe ser igual al 100%
- 2.- Los pesos deben ser ≥ 0

En la optimización con Solver, el activo libre de riesgo (Letras del Tesoro) no se incluye directamente como una variable a optimizar. El proceso se realiza únicamente con los activos de riesgo (Indra, Ferrovial e Iberdrola), ya que Excel-Solver no permite representar carteras combinadas con activos sin riesgo en la Frontera Eficiente.

No obstante, la rentabilidad de las Letras del Tesoro sí se utiliza para calcular el Ratio de Sharpe.

Posteriormente, a partir de la cartera tangente (máximo Sharpe), se pueden construir carteras más conservadoras sobre la Línea de Mercado de Capitales (CML), ajustando el peso entre el activo libre de riesgo y la cartera de riesgo óptima según el perfil del inversor.

RESULTADOS: COMBINACIÓN ÓPTIMA DE ACTIVOS

Tras aplicar la teoría de Markowitz, se han obtenido dos combinaciones eficientes de activos: la cartera de mínima varianza y la cartera de máximo Ratio de Sharpe. Cada una

responde a un perfil de riesgo distinto y representa un punto clave dentro de la Frontera Eficiente.

CARTERA DE MÍNIMA VARIANZA

Esta cartera busca minimizar el riesgo total (volatilidad) sin imponer un objetivo específico de rentabilidad. Está diseñada para perfiles conservadores que priorizan la estabilidad sobre la rentabilidad.

ACTIVO	PESO CARTERA MÍN. VARIANZA (%)
INDRA	0,00%
FERROVIAL	50,02%
IBERDROLA	49,98%
TOTAL	100,00%

·Rentabilidad anual esperada: 33,006%

·Volatilidad (σ anual): 9,035%

·Varianza anual: 0,816%

* Aunque Indra presenta una rentabilidad esperada muy elevada, su alta volatilidad y débil efecto diversificador han hecho que quede excluida de la combinación más eficiente en términos de mínima varianza.

CARTERA DE MÁXIMO RATIO SHARPE

Esta cartera maximiza la rentabilidad ajustada al riesgo, siendo el punto tangente entre la Frontera Eficiente y la Línea de Mercado de Capitales (CML). Es idónea para inversores con perfil de riesgo moderado-alto que buscan la mejor compensación posible entre riesgo y rentabilidad.

ACTIVO	PESO CARTERA MÁX. RATIO SHARPE (%)
INDRA	2,82%
FERROVIAL	40,81%
IBERDROLA	56,37%
TOTAL	100,00%

· Rentabilidad anual esperada: 34,431%

· Volatilidad (σ anual): 9,261%

· Varianza anual: 0,858%

· Ratio Sharpe: 3,504

* Pese a su baja ponderación, Indra se incluye en esta cartera por su rentabilidad potencial, que mejora ligeramente el Sharpe frente a la cartera de mínima varianza, a pesar de su mayor riesgo individual.

5.2. Creación de una cartera recomendada por IA

Para construir una cartera alternativa basada en IA, se ha simulado el uso de un sistema de aprendizaje automático diseñado para identificar activos con alto potencial de rentabilidad, así como para realizar una asignación óptima de activos del mercado español.

Antes de pasar a comentar los activos, quiero destacar que con el objetivo de realizar una comparación objetiva entre ambas carteras, se ha restringido el universo de inversión a activos nacionales: empresas del IBEX 35 y Letras de Tesoro del Estado español a 3 meses.

Una vez aclarado esto, la cartera recomendada por IA se ha basado en:

- Modelos predictivos de *Machine Learning* (como árboles de decisión o redes neuronales)
- Análisis de sentimiento del mercado a partir de noticias económicas
- Datos financieros fundamentales y técnicos
- *Backtesting* de estrategias en periodos anteriores

El *Backtesting* es una técnica que permite simular el comportamiento pasado de una estrategia con datos históricos para evaluar su eficacia.

Teniendo esto en cuenta, los activos seleccionados por la IA para formar la cartera de inversión son los siguientes:

ACTIVO	SECTOR	PESO (%)
INDITEX	MODA/CONSUMO	25,00%
REPSOL	ENERGÍA/PETRÓLEO	20,00%
IBERDROLA	ENERGÍAS RENOVABLES	20,00%
CELLNEX	TELECOMUNICACIONES	15,00%
LETRAS DEL TESORO (3 MESES)	RENTA FIJA (ACTIVO SEGURO)	20,00%

Los pesos no han sido asignados manualmente, sino que han sido el resultado de la optimización automática del modelo, diseñado para identificar la combinación más eficiente de activos según su rentabilidad esperada, riesgo individual y correlación.

A continuación se puede ver una representación gráfica de como quedarían representados estos pesos:

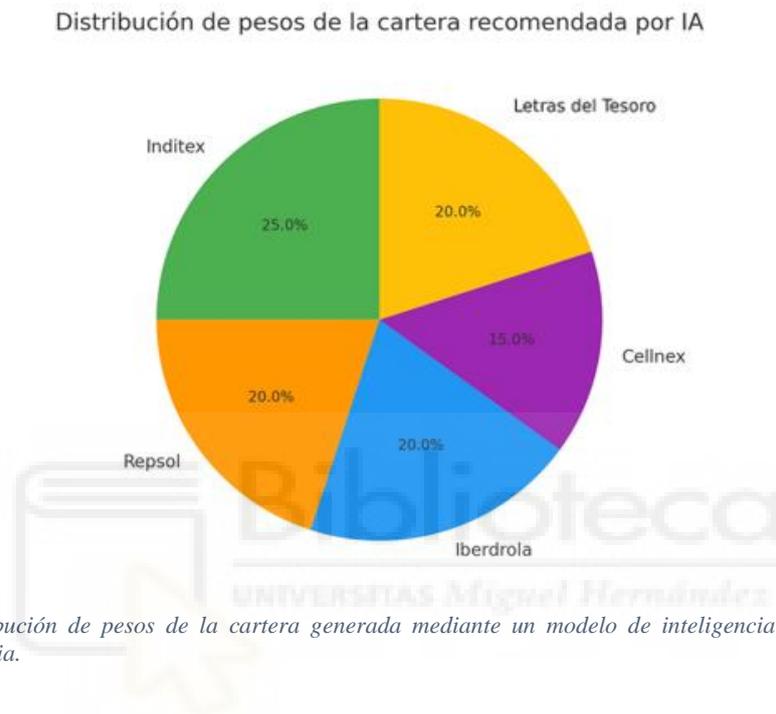


Figura X: Distribución de pesos de la cartera generada mediante un modelo de inteligencia artificial. Fuente: Elaboración propia.

RENTABILIDAD ESPERADA Y RIESGO

Una vez seleccionados los activos y definidos sus pesos en la cartera, el siguiente paso consiste en estimar su rentabilidad esperada y su nivel de riesgo.

En la siguiente tabla se muestra la rentabilidad esperada anualizada y la volatilidad estimada para cada uno de los activos seleccionados por la IA:

ACTIVO	R.ESPERADA	VOLATILIDAD (σ)
INDITEX	26,78%	21,28%
REPSOL	-13,78%	20,18%
IBERDROLA	13,93%	12,93%
CELLNEX	-14,23%	25,37%
LETRAS DEL TESORO (3 MESES)	1,976%	RIESGO TOTAL CERO

* Las rentabilidades se han calculado utilizando precios de cierre a 02/01/2024 y 31/12/2024. Los resultados negativos de Repsol y Cellnex reflejan una evolución desfavorable del precio en ese periodo, lo cual es coherente y muestra la utilidad del modelo de optimización en ajustar los pesos para minimizar su impacto.

MATRIZ DE CORRELACIONES

Las correlaciones entre activos han quedado de la siguiente manera tras realizar la matriz:

PAR DE ACTIVOS	CORRELACIÓN	INTERPRETACIÓN
INDITEX - REPSOL	-0,251	Negativa-moderada
INDITEX - IBERDROLA	0,243	Moderada-baja
INDITEX - CELLNEX	0,412	Moderada
REPSOL – IBERDROLA	-0,203	Negativa-baja
REPSOL – CELLNEX	-0,180	Negativa-baja

IBERDROLA - CELLNEX	0,570	Moderada-alta
----------------------------	-------	---------------

Hay que tener en cuenta que valores cercanos a +1 indican movimientos similares, mientras que correlaciones cercanas a -1 reflejan movimientos opuestos. Cuánto más cercana a -1 sea la correlación, mayor será la diversificación, lo que ayuda a reducir el riesgo total de la cartera.

RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN CON SOLVER

Al igual que con la cartera anterior, se han generado dos carteras eficientes a partir de los activos seleccionados: una de mínima varianza y otra de máximo Sharpe.

CARTERA DE MÍNIMA VARIANZA (IA)

Esta cartera busca minimizar el riesgo total (volatilidad) sin imponer un objetivo específico de rentabilidad. Está diseñada para perfiles conservadores que priorizan la estabilidad sobre la rentabilidad.

ACTIVO	PESO CARTERA MÍN. VARIANZA (%)
INDITEX	17,58%
REPSOL	31,70%
IBERDROLA	50,72%
CELLNEX	00,00%
TOTAL	100,00%

·Rentabilidad anual esperada: 12,694%

·Volatilidad (σ anual): 8,523%

·Varianza anual: 0,726%

CARTERA DE MÁXIMO RATIO SHARPE (IA)

Esta cartera maximiza la rentabilidad ajustada al riesgo, siendo el punto tangente entre la Frontera Eficiente y la Línea de Mercado de Capitales (CML). Es idónea para inversores con perfil de riesgo moderado-alto que buscan la mejor compensación posible entre riesgo y rentabilidad.

ACTIVO	PESO CARTERA MÍN. VARIANZA (%)
INDITEX	00,00%
REPSOL	00,00%
IBERDROLA	100,00%
CELLNEX	00,00%
TOTAL	100,00%

·Rentabilidad anual esperada: 38,097%

·Volatilidad (σ anual): 12,375%

·Varianza anual: 1,531%

·Ratio Sharpe: 2,919

* El modelo identifica a Iberdrola como el activo más eficiente en cuanto a rentabilidad-riesgo, otorgándole el 100% de la cartera en este escenario. Posteriormente, es posible

combinar esta cartera con el activo libre de riesgo (Letras del Tesoro) para construir la Línea del Mercado de Capitales (CML) adaptada al perfil del inversor.

5.3. Análisis comparativo: Rentabilidad y riesgo durante un período de un año

En este apartado se presentan los resultados empíricos obtenidos al comparar dos carteras de inversión construidas mediante metodologías distintas: una basada en los modelos clásicos CAPM y la teoría de Markowitz, y otra generada mediante IA. El análisis se centra en el desempeño de ambas carteras con una duración de un año, desde el mes de abril de 2024 al mes de abril de 2025, evaluando indicadores clave como rentabilidad, riesgo y Ratio de Sharpe.

Las fórmulas empleadas fueron:

· Rentabilidad mensual esperada: calculada como la media de los rendimientos históricos mensuales ponderados por el peso de cada activo.

$$E(R_p) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot E(R_i)$$

· Riesgo total (volatilidad): estimado a través de la desviación típica de los rendimientos de la cartera, considerando las covarianzas entre activos.

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_{i,j}$$

· Ratio de Sharpe: calculado como el exceso de rentabilidad sobre el activo libre de riesgo, dividido por la volatilidad total.

$$S_p = \frac{E_p - R_f}{\sigma_p}$$

RESULTADOS: CARTERAS CLÁSICAS (MARKOWITZ + CAPM)

1. Cartera de mínima varianza:

·Composición: 49,98% IBE, 50,02% FER

·Rentabilidad esperada: 33,01%

·Volatilidad: 9,04%

·Ratio de Sharpe: 3,434

2. Cartera de máxima Sharpe:

·Composición: 2,82% IDR, 56,37% IBE, 40,81% FER

·Rentabilidad esperada: 34,43%

·Volatilidad: 9,26%

·Ratio de Sharpe: 3,504



RESULTADOS: CARTERAS GENERADAS MEDIANTE IA

1. Cartera sugerida por IA (mixta con Letras del Tesoro):

·Composición: 25% ITX, 20% REP, 20% IBE, 15% CLNX, 20% Letras

·Rentabilidad esperada: 7,48%

·Volatilidad: 8,62%

·Ratio de Sharpe: 2,919

2. Cartera de mínima varianza:

·Composición: 17,58% ITX, 31,70% REP, 50,72% IBE

·Rentabilidad esperada: 12,69%

·Volatilidad: 8,52%

·Ratio de Sharpe: 1,258

3. Cartera de máxima Sharpe:

·Composición: 100% IBE

·Rentabilidad esperada: 38,10%

·Volatilidad: 12,38%

·Ratio de Sharpe: 2,919

COMPARACIÓN CON CARTERAS IBEX + LETRAS DEL TESORO

Para evaluar la eficiencia de las carteras frente a combinaciones simples de mercado (IBEX-35) y activo libre de riesgo (letras a 3 meses), se realizaron dos simulaciones:

Opción A: Igualar rentabilidad de la cartera mínima varianza

· Clásica (Markowitz): riesgo necesario para igualar rentabilidad con IBEX+Rf: 18,41%

· IA: riesgo necesario para igualar rentabilidad con IBEX+Rf: 6,36%

Opción B: Igualar riesgo de la cartera mínima varianza

· Clásica: rentabilidad obtenida con IBEX+Rf bajo el mismo riesgo: 17,21%

· IA: rentabilidad obtenida con IBEX+Rf bajo el mismo riesgo: 16,34%

ANÁLISIS FINAL

Los resultados reflejan que:

1. La cartera clásica basada en Markowitz + CAPM alcanza niveles significativamente más altos de rentabilidad esperada con una volatilidad moderada, especialmente en su configuración de máxima Sharpe.
2. La cartera generada por IA muestra un perfil más conservador en la versión diversificada con Letras, pero permite una alta personalización.
3. En términos de eficiencia ajustada al riesgo (Ratio de Sharpe), la cartera clásica supera a la IA (3,504 frente a 2,919), aunque la diferencia no es excesiva.
4. Al comparar con carteras simples IBEX + Letras, se observa que replicar el rendimiento de la cartera clásica exige asumir un riesgo muy superior, lo que valida su eficiencia.

5.4. Desviaciones entre las carteras y evaluación del rendimiento

La comparación entre las carteras construidas mediante métodos clásicos (Markowitz + CAPM) y las generadas por IA revela diferencias relevantes tanto en la asignación de activos como en el perfil de riesgo-rentabilidad.

En primer lugar, las carteras clásicas muestran una clara orientación hacia activos con mayor rendimiento esperado y menor correlación entre activos, optimizando el Ratio de Sharpe. Este enfoque logra una rentabilidad anual esperada significativamente superior (33-34%) con un nivel de riesgo contenido (desviación en torno al 9%). En cambio, las carteras basadas en IA, adoptan un enfoque más conservador ya que priorizan la diversificación y la estabilidad, lo que se traduce en rentabilidades esperadas menores (7-12%) con niveles de riesgo similares.

También cabe destacar que mientras que la IA excluye por completo algunos activos (por ejemplo en su cartera Sharpe invierte el 100% en IBE), la metodología clásica asigna pesos más equilibrados. Esto podría ser una señal de que la IA prioriza la optimización basada en datos recientes y por el otro lado, la metodología clásica emplea un enfoque más estructural y teórico del CAPM.

En términos de rendimiento ajustado al riesgo, el Ratio de Sharpe favorece a la cartera clásica (3,504 frente a 2,919 en la mejor versión IA), lo que sugiere una mayor eficiencia en la asignación de activos desde una perspectiva tradicional.

No obstante, las decisiones automatizadas de la IA pueden ofrecer ventajas en escenarios de alta volatilidad o cambios bruscos de mercado, al adaptarse con mayor rapidez a patrones emergentes que los modelos clásicos podrían no captar a tiempo.

En definitiva, las desviaciones más notables se encuentran en la estrategia de asignación, el perfil de riesgo asumido y la eficiencia global del rendimiento. A pesar del potencial técnico de los modelos de IA, las carteras construidas mediante herramientas financieras tradicionales presentan una ventaja clara en cuanto a equilibrio, racionalidad y eficacia, elementos relevantes en entornos de decisión profesional.

6. CONCLUSIONES

6.1. Resumen de los principales hallazgos

A lo largo de este trabajo se ha abordado la evolución y el impacto de la IA en los mercados financieros desde un enfoque teórico y práctico. En la primera parte se ha definido el concepto de IA y su desarrollo histórico en el ámbito financiero, que es el que nos interesa tratar, lo que ha permitido contextualizar su papel actual. El marco teórico ha explicado los principales sistemas automáticos utilizados hoy en día, como el trading algorítmico, los *Robo Advisor* y los modelos de predicción de mercados.

Posteriormente, se ha analizado el impacto real de estas herramientas, destacando tanto los beneficios (mayor eficiencia, reducción de costes o la mejora en la toma de decisiones) como los riesgos (falta de transparencia, dependencia tecnológica y posibles fallos sistemáticos). También se han identificado los desafíos regulatorios y las oportunidades emergentes para el sector, incluyendo la necesidad de adaptación por parte de los profesionales y el potencial de nuevos modelos de negocio.

En la parte empírica, la comparación entre una cartera construida según los modelos tradicionales (CAPM y Markowitz) y otra generada por IA ha evidenciado que los

sistemas inteligentes pueden igualar e incluso superar la rentabilidad de métodos clásicos, aunque con ciertas diferencias en la gestión del riesgo y la distribución de activos.

Como reflexión final decir que la IA representa una evolución, no una ruptura. Integrarla adecuadamente en el mundo financiero requiere un equilibrio entre aprovechar su capacidad analítica sin perder de vista el juicio humano ni el respaldo teórico de modelos probados. La clave está en la complementariedad.

6.2. Recomendaciones y perspectivas futuras

Se recomienda seguir promoviendo la educación financiera y tecnológica entre los profesionales del sector, así como reforzar la supervisión regulatoria frente al avance de sistemas cada vez más autónomos. A nivel académico y profesional, sería valioso continuar investigando en modelos híbridos más transparentes y sostenibles, que combinen la capacidad predictiva de la IA con los criterios éticos, sociales y medioambientales.



7. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado Rojas, M. E. (2015). *Una mirada a la inteligencia artificial*. Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información. [file:///C:/Users/FUJITSU/Downloads/Documat UnaMiradaALaInteligenciaArtificial-7894426.pdf](file:///C:/Users/FUJITSU/Downloads/Documat%20UnaMiradaALaInteligenciaArtificial-7894426.pdf)
- Vocesenelfenix. (s.f.). *Introducción: La sociedad del conocimiento y la inteligencia artificial*. Voces en el Fénix. <https://vocesenelfenix.economicas.uba.ar/introduccion-la-sociedad-del-conocimiento-y-la-inteligencia-artificial/>
- Parlamento Europeo. (2020, agosto 27). *¿Qué es la inteligencia artificial y cómo se usa?* Parlamento Europeo. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20200827STO85804/que-es-la-inteligencia-artificial-y-como-se-usa>
- Arenillas, Á. (2023, octubre 24). *Inteligencia Artificial en la banca, más allá del chatbot*. Computing. <https://www.computing.es/opinion/inteligencia-artificial-en-la-banca-historia/>
- *Cómo la Inteligencia Artificial cambió la historia de los bancos*. (s.f.). Tecnívoro. <https://www.tecnivoro.com/como-la-inteligencia-artificial-cambio-la-historia-de-los-bancos/>
- Medpatrimonia. (2024, junio 21). *Principales conceptos de inversión que debes conocer*. MedPatrimonia. <https://medpatrimonia.med.es/es/actualitat/116892/conceptos-basicos-inversion>
- SAS. (s.f.). *Aprendizaje automático: Qué es y por qué importa*. SAS. https://www.sas.com/es_es/insights/analytics/machine-learning.html
- SAS. (s.f.). *¿Qué es deep learning?* SAS. https://www.sas.com/es_es/insights/analytics/deep-learning.html

- *Universidad Complutense de Madrid. (s.f.). ¿Qué es el Machine Learning? Master Data Science UCM.(2025, febrero 5).* <https://www.masterdatascienceucm.com/que-es-machine-learning/>
- *XTB. (s.f.). ¿Qué son los Sistemas Automáticos de Trading?* <https://www.xtb.com/es/educacion/que-son-los-sistemas-automaticos-de-trading>
- *Herrero, H. (s.f.). Revenue Management: Market Data. Centro de Ayuda de AvaiBook.* <https://helpcenter.avaibook.com/es/articles/4549712-revenue-management-market-data>
- *IG. (s.f.). Definición de Datos de Mercado.* <https://www.ig.com/es/glosario-trading/definicion-de-datos-de-mercado>
- *Equipo iBroker. (2017, octubre 31). Anatomía de los Sistemas Automáticos. Blog de Mercados Financieros de iBroker.es.* <https://blog.ibroker.es/anatomia-de-los-sistemas-automaticos/>
- *INÉSEM Business School. (s.f.). Psicología financiera. INÉSEM.* <https://www.inesem.es/revistadigital/gestion-empresarial/psicologia-financiera/>
- *Estrategias de Inversión. (2017). Psicología e inversión: el valor del factor humano.* <https://www.estrategiasdeinversion.com/actualidad/noticias/bolsa-espana/psicologia-e-inversion-el-valor-del-factor-humano-n-396979>
- *Novatos Trading Club. (s.f.). Trading sistemático puro: ventajas e inconvenientes.* <https://www.novatostradingclub.com/trading/trading-sistemico-puro-ventajas-e-inconvenientes/>
- *inbestMe. (s.f.). Robo Advisor.* <https://www.inbestme.com/es/es/nosotros/robo-advisor/>
- *Traders Business School. (s.f.). Trading algorítmico.* <https://www.tradersbusinessschool.com/trading-algoritmico/>
- *Salzworth Asset Management. (2021, enero 6). Algorithmic trading vs robo-advisor: the 7 key differences.* <https://salzworth.com/blog/systematic-trading/algo-trading-vs-robo-advisor>

- *Inesdi Digital Business School*. (s.f.). *Trading algorítmico: qué es, cómo funciona y ejemplos*. Inesdi. <https://www.inesdi.com/blog/trading-algoritmico/>
- *MyInvestor*. (s.f.). *Test de carteras automatizadas*. MyInvestor. <https://myinvestor.es/inversion/carteras-automatizadas/test/>
- *Jariego, F. J.* (2021, 18 de febrero). *¿Qué son los mercados de predicción y por qué necesitamos uno público para ciencia y tecnología?* Universidad Politécnica de Madrid. https://www.upm.es/investigacion?id=24305136054b7710VgnVCM10000009c7648a___&prefmt=articulo&fmt=detail
- *MyABCM*. (s.f.). *La importancia del análisis predictivo*. MyABCM. <https://myabcm.com/es/importancia-analisis-predictivo/>
- *FasterCapital*. (s.f.). *Tipos de datos de mercado y su importancia*. FasterCapital. <https://fastercapital.com/es/tema/tipos-de-datos-de-mercado-y-su-importancia.html>
- *Alex from EODHD*. (s.f.). *Fundamentals: Basics Explained*. EODHD. <https://eodhd.com.translate.google/financial-academy/financial-faq/fundamental-data-explained>
- *Mercado, P.* (2022, junio 27). *Análisis técnico: principios e indicadores*. Funds Society. <https://www.fundssociety.com/es/formate-a-fondo/analisis-tecnico-principios-e-indicadores/>
- *Similarweb*. (s.f.). *¿Qué son los datos alternativos? Una guía para inversores*. <https://www.similarweb.com/blog/es/investor/asset-research/what-is-alternative-data/>
- *Bling*. (2025, enero 26). *Métodos de análisis financiero: guía completa para pymes*. <https://www.bling.mx/blog/control-financeiro/metodos-de-analisis-financieros/>
- *OBS Business School*. (s.f.). *Análisis financiero de una empresa, pasos para realizarlo*. OBS Business School. <https://www.obsbusiness.school/blog/analisis-financiero-de-una-empresa-pasos-para-realizarlo>
- *Fondo Monetario Internacional*. (2024, octubre 15). *La inteligencia artificial puede mejorar la eficiencia de los mercados, y avivar su volatilidad*. FMI.

<https://www.imf.org/es/Blogs/Articles/2024/10/15/artificial-intelligence-can-make-markets-more-efficient-and-more-volatile>

- *Financial System. (s.f.). ¿Qué es el análisis financiero? Financial System.* <https://www.financialsystem.es/blog/que-es-el-analisis-financiero/>
- *FasterCapital. (2024, junio 15). Toma de decisiones: potenciar la toma de decisiones con eficiencia X. FasterCapital.* <https://fastercapital.com/es/contenido/Toma-de-decisiones--potenciar-la-toma-de-decisiones-con-eficiencia-X.html>
- *AvaTrade. (2024, octubre 1). La quiebra relámpago de 2010. AvaTrade.* <https://www.avatrade.es/blog/trading-history/the-flash-crash-of-2010>
- *IG. (2019, agosto 2). Explicación de los flash crashes. IG.* <https://www.ig.com/es/estrategias-de-trading/explicacion-de-los-flash-crashes-190802>
- *Investopedia. (n.d.). Understanding value at risk (VaR) and how it's computed. Investopedia.* <https://www.investopedia.com/terms/v/var.asp>
- *Archer, C. (2023, febrero 24). Take profit y stop loss: ¿Qué significa y cómo funciona? IG España.* <https://www.ig.com/es/estrategias-de-trading/take-profit-y-stop-loss---que-significa-y-como-funciona--240229>
- *Ayerdi, A. (2024, julio 3). IA reemplaza a los CFOs en finanzas. DocuWare.* <https://start.docuware.com/es/blog/ia-reemplaza-cfos-finanzas>
- *KPMG. (2023). AI in audit: Survey report October 2023. KPMG.* <https://kpmg.com/kpmg-us/content/dam/kpmg/pdf/2023/kpmg-ai-in-audit-survey-report-october-2023.pdf>
- *Piqueras, P. (2023, julio 11). La regulación, una palanca para la innovación financiera. BBVA Corporate & Investment Banking.* <https://www.bbvacib.com/es/insights/news/la-regulacion-una-palanca-para-la-innovacion-financiera/>
- *Europa Press. (2024, junio 17). El FMI considera “crucial” gravar más las rentas del capital para abordar la mayor desigualdad por la IA. Europa Press.* <https://www.europapress.es/economia/noticia-fmi-considera-crucial-gravar-mas-rentas-capital-abordar-mayor-desigualdad-ia-20240617175441.html>

- *BeInCrypto*. (2025, febrero 26). *España: CNMV y Banco de España analizarán riesgos financieros de la IA*. *BeInCrypto*. <https://es.beincrypto.com/espana-cnmv-banco-espana-analizaran-riesgos-financieros-ia/>
- *Fernández, Y.* (2025, enero 29). *DeepSeek: qué es, cómo funciona y qué opciones tiene esta inteligencia artificial*. *Xataka*. <https://www.xataka.com/basics/deepseek-que-como-funciona-que-opciones-tiene-esta-inteligencia-artificial>
- *Capital Group*. (2025, enero 7). *CAPU23: Perspectivas bursátiles: La IA lidera un mercado en expansión*. *Funds Society*. <https://www.fundssociety.com/es/opinion/capu23-perspectivas-bursatiles-la-ia-lidera-un-mercado-en-expansion/>
- *Serrano, E.* (2020, agosto 13). *Qué es el modelo de Markowitz y cómo funciona*. <https://www.plantillaspyme.com/blog-pymes/finanzas-y-contabilidad/que-es-el-modelo-de-markowitz-y-como-funciona>
- *Value4All*. (s.f.). *CAPM explicado*. <https://www.value4all.es/blog/capm-explicado>
- *Negrete García, G.* (2019). *Modelo de valoración de precios de activos (Modelo CAPM)*. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/17502>
- *Bolsas y Mercados Españoles*. (2025). *Informe mensual del Mercado Continuo*. <https://www.bolsasymercados.es/bme-exchange/docs/SB/mensual.pdf>
- *Tesoro Público*. (2025). *Resultado de últimas subastas: Obligaciones del Estado*. <https://www.tesoro.es/deuda-publica/subastas/resultado-ultimas-subastas/obligaciones-del-estado>

8. ANEXOS

Anexo 1. Datos Base – Cartera CAPM y Markowitz

A1.1. Precios de cierre mensuales de activos (IDR, IBE, FER)

PRECIOS DE CIERRE			
FECHA	IDR	IBE	FER
01/04/2024	18,030	11,510	33,521
01/05/2024	21,100	12,100	36,260
01/06/2024	19,310	12,115	36,260
01/07/2024	18,540	12,180	36,740
01/08/2024	16,920	12,820	37,740
01/09/2024	16,490	13,890	38,194
01/10/2024	16,200	13,483	36,511
01/11/2024	16,660	13,330	39,020
01/12/2024	17,080	13,142	40,600
01/01/2025	18,550	13,640	41,400
01/02/2025	20,960	13,950	42,820
01/03/2025	26,720	14,940	41,180
01/04/2025	28,020	15,895	42,880

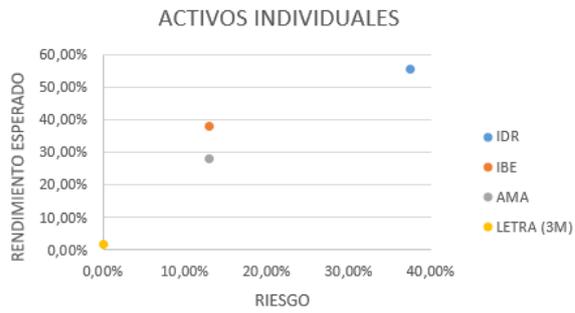
A1.2. Rendimientos mensuales

RENDIMIENTOS MENSUALES			
FECHA	IDR	IBE	FER
01/04/2024			
01/05/2024	17,027%	5,126%	8,171%
01/06/2024	-8,483%	0,124%	0,000%
01/07/2024	-3,988%	0,537%	1,324%
01/08/2024	-8,738%	5,255%	2,722%
01/09/2024	-2,541%	8,346%	1,203%
01/10/2024	-1,759%	-2,930%	-4,406%
01/11/2024	2,840%	-1,135%	6,872%
01/12/2024	2,521%	-1,410%	4,049%
01/01/2025	8,607%	3,789%	1,970%
01/02/2025	12,992%	2,273%	3,430%
01/03/2025	27,481%	7,097%	-3,830%
01/04/2025	4,865%	6,392%	4,128%

A1.3. Estadísticos resumen (rendimiento medio, desviación, rendimiento libre de riesgo)

	IDR	IBE	FER	LETRA (3M)
Rendimiento Medio Mensual	3,742%	2,726%	2,073%	-
Rendimiento Medio Anual	55,408%	38,097%	27,920%	1,976%
Desviación Media Mensual	10,807%	3,731%	3,730%	-
Desviación Media Anual	37,435%	12,926%	12,920%	0,000%

A1.4. Gráfico de dispersión de activos



Anexo 2. Resultados – Cartera CAPM y Markowitz

A2.1. Matriz de covarianzas anualizada

	<i>IDR</i>	<i>IBE</i>	<i>FER</i>
<i>IDR</i>	0,128	0,018	0,001
<i>IBE</i>	0,018	0,015	0,001
<i>FER</i>	0,001	0,001	0,015

A2.2. Matriz de correlaciones

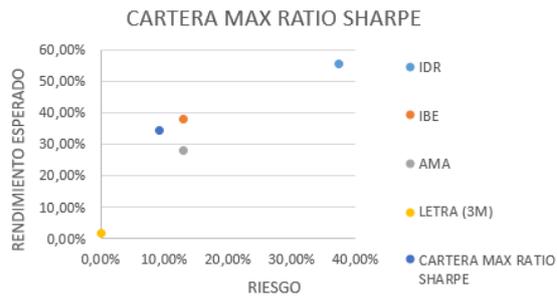
	<i>IDR</i>	<i>IBE</i>	<i>FER</i>
<i>IDR</i>	1	0,365	0,028
<i>IBE</i>	0,365	1	0,061
<i>FER</i>	0,028	0,061	1

Cartera Max Sharpe

A2.3. Pesos, rentabilidad esperada, riesgo, ratio Sharpe

	<i>IDR</i>	<i>IBE</i>	<i>FER</i>	SUMA
PESO	2,82%	56,37%	40,81%	100,00%
Rendimiento Anual Esperado Cartera				34,431%
Varianza Anual Cartera				0,858%
Desviación Anual				9,261%
Ratio Sharpe				3,504

A2.4. Gráfico de dispersión – Cartera Max Sharpe

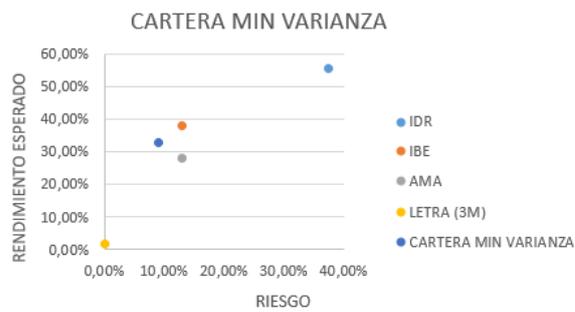


Cartera Min Varianza

A2.5. Pesos, rentabilidad esperada, riesgo

	IDR	IBE	FER	SUMA		
PESO	0,00%	49,98%	50,02%	100,00%		
Rendimiento Anual Esperado Cartera				33,006%		
Varianza Anual Cartera				0,816%	Ratio Sharpe	3,434
Desviación Anual				9,035%		

A2.6. Gráfico de dispersión – Cartera Min Varianza



Comparativa con IBEX-35

A2.7. Precios de cierre y rentabilidades del IBEX-35

PRECIOS DE CIERRE		RENDIMIENTOS MENSUALES	
FECHA	IBEX-35	FECHA	IBEX35
01/04/2024	10854,400	01/04/2024	
01/05/2024	11322,000	01/05/2024	4,308%
01/06/2024	10943,700	01/06/2024	-3,341%
01/07/2024	11065,000	01/07/2024	1,108%
01/08/2024	11401,900	01/08/2024	3,045%
01/09/2024	11877,300	01/09/2024	4,169%
01/10/2024	11672,600	01/10/2024	-1,723%
01/11/2024	11641,300	01/11/2024	-0,268%
01/12/2024	11595,000	01/12/2024	-0,398%
01/01/2025	12368,900	01/01/2025	6,674%
01/02/2025	13347,300	01/02/2025	7,910%
01/03/2025	13135,400	01/03/2025	-1,588%
01/04/2025	13287,800	01/04/2025	1,160%

A2.8. Opción A: Réplica con mismo rendimiento (riesgo asumido)

OPCIÓN A: Replicar rentabilidad con IBEX + Rf
 ¿Qué riesgo tendrías si quisieras conseguir la misma rentabilidad que tu cartera mínima varianza, solo con IBEX y Letras?

Volatilidad réplica rentabilidad igualada	18,410%
Peso IBEX-35	1,518

A2.9. Opción B: Réplica con mismo riesgo (rentabilidad obtenida)

OPCIÓN B: Replicar riesgo con IBEX + Rf
 ¿Qué rentabilidad obtendrías si aceptaras el mismo riesgo que tu cartera mínima varianza, solo con IBEX y Letras?

Rentabilidad réplica riesgo igualado	17,205%
Peso IBEX-35	0,745

A2.10. Comparativa final

COMPARATIVA FINAL	
Rentabilidad cartera M.V	33,006%
Riesgo cartera M.V	9,035%
Rentabilidad réplica (igual riesgo)	17,205%
Riesgo réplica (igual rentabilidad)	18,410%

Anexo 3. Datos Base – Cartera basada en IA

A3.1. Precios de cierre mensuales de activos

PRECIOS DE CIERRE				
FECHA	ITX	REP	IBE	CLNX
01/04/2024	42,850	14,725	11,510	31,050
01/05/2024	43,560	15,020	12,100	33,530
01/06/2024	46,360	14,735	12,115	30,370
01/07/2024	44,860	13,175	12,180	32,180
01/08/2024	48,980	12,455	12,820	34,930
01/09/2024	53,140	11,845	13,890	36,430
01/10/2024	52,300	11,450	13,483	33,700
01/11/2024	52,180	11,825	13,330	33,980
01/12/2024	49,640	11,690	13,142	30,510
01/01/2025	52,720	11,270	13,640	32,390
01/02/2025	52,000	12,310	13,950	34,440
01/03/2025	45,850	12,300	14,940	32,830
01/04/2025	47,240	10,810	15,895	35,640

A3.2. Rendimientos mensuales

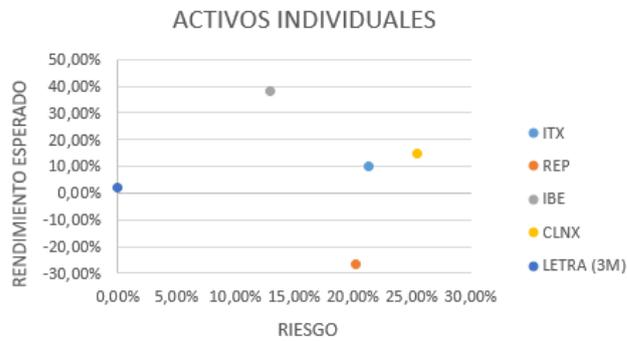
RENDIMIENTOS				
FECHA	ITX	REP	IBE	CLNX
01/04/2024				
01/05/2024	1,657%	2,003%	5,126%	7,987%
01/06/2024	6,428%	-1,897%	0,124%	-9,424%
01/07/2024	-3,236%	-10,587%	0,537%	5,960%
01/08/2024	9,184%	-5,465%	5,255%	8,546%
01/09/2024	8,493%	-4,898%	8,346%	4,294%
01/10/2024	-1,581%	-3,335%	-2,930%	-7,494%
01/11/2024	-0,229%	3,275%	-1,135%	0,831%
01/12/2024	-4,868%	-1,142%	-1,410%	-10,212%
01/01/2025	6,205%	-3,593%	3,789%	6,162%
01/02/2025	-1,366%	9,228%	2,273%	6,329%
01/03/2025	-11,827%	-0,081%	7,097%	-4,675%
01/04/2025	3,032%	-12,114%	6,392%	8,559%

A3.3. Estadísticos resumen (rendimiento medio, desviación, rendimiento libre de riesgo)

	ITX	REP	IBE	CLNX	LETRA (3M)
Rendimiento Medio Mensual	0,816%	-2,543%	2,726%	1,156%	-
Rendimiento Medio Anual	10,245%	-26,587%	38,097%	14,783%	1,976%
Desviación Media Mensual	6,142%	5,826%	3,731%	7,325%	-
Desviación Media Anual	21,275%	20,181%	12,926%	25,374%	0,000%

A3.4. Gráfico de dispersión de activos

Anexo 4. Resultados – Cartera basada en IA



A4.1. Matriz de covarianzas anualizada

	<i>ITX</i>	<i>REP</i>	<i>IBE</i>	<i>CLNX</i>
<i>ITX</i>	0,041	-0,011	0,007	0,022
<i>REP</i>	-0,011	0,037	-0,005	-0,009
<i>IBE</i>	0,007	-0,005	0,015	0,019
<i>CLNX</i>	0,022	-0,009	0,019	0,059

A4.2. Matriz de correlaciones

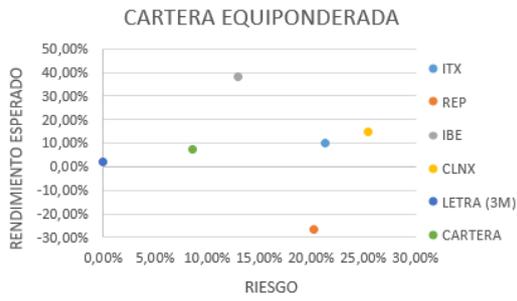
	<i>ITX</i>	<i>REP</i>	<i>IBE</i>	<i>CLNX</i>
<i>ITX</i>	1	-0,251	0,243	0,412
<i>REP</i>	-0,251	1	-0,203	-0,180
<i>IBE</i>	0,243	-0,203	1	0,570
<i>CLNX</i>	0,412	-0,180	0,570	1

Cartera IA Equiponderada

A4.3. Pesos, rentabilidad esperada, riesgo, ratio Sharpe

	<i>ITX</i>	<i>REP</i>	<i>IBE</i>	<i>CLNX</i>	<i>LETRA (3M)</i>	<i>SUMA</i>
PESO	25,00%	20,00%	20,00%	15,00%	20,00%	100,00%
Rendimiento Anual Esperado Cartera			7,476%			
Varianza Anual Cartera			0,743%	Ratio Sharpe	0,638	
Desviación Anual			8,621%			

A4.4. Gráfico de dispersión – Cartera Equiponderada

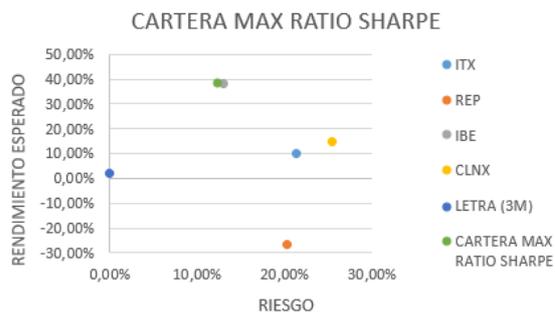


Cartera IA Max Sharpe

A4.5. Pesos, rentabilidad esperada, riesgo, ratio Sharpe

	ITX	REP	IBE	CLNX	SUMA
PESO	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%
Rendimiento Anual Esperado Cartera			38,097%		
Varianza Anual Cartera			1,531%		
Desviación Anual			12,375%		
Ratio Sharpe	2,919				

A4.6. Gráfico de dispersión – Cartera Max Sharpe

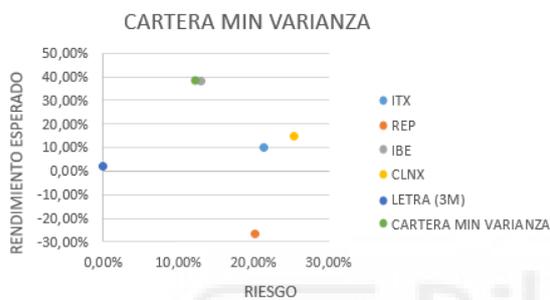


Cartera IA Min Varianza

A4.7. Pesos, rentabilidad esperada, riesgo

	ITX	REP	IBE	CLNX	SUMA
PESO	17,58%	31,70%	50,72%	0,00%	100,00%
Rendimiento Anual Esperado Cartera					12,694%
Varianza Anual Cartera					0,726%
Desviación Anual					8,523%
				Ratio Sharpe	1,258

A4.8. Gráfico de dispersión – Cartera Min Varianza



Comparativa con IBEX-35

A4.9. Opción A: Réplica con mismo rendimiento (riesgo asumido)

OPCIÓN A: Replicar rentabilidad con IBEX + Rf
¿Qué riesgo tendrías si quisieras conseguir la misma rentabilidad que tu cartera mínima varianza, solo con IBEX y Letras?

Volatilidad réplica rentabilidad igualada	6,359%
Peso IBEX-35	0,524

A4.10. Opción B: Réplica con mismo riesgo (rentabilidad obtenida)

OPCIÓN B: Replicar riesgo con IBEX + Rf
¿Qué rentabilidad obtendrías si aceptaras el mismo riesgo que tu cartera mínima varianza, solo con IBEX y Letras?

Rentabilidad réplica riesgo igualado	16,342%
Peso IBEX-35	0,703

A4.11. Comparativa final

COMPARATIVA FINAL	
Rentabilidad cartera M.V	12,694%
Riesgo cartera M.V	8,523%
Rentabilidad réplica (igual riesgo)	16,342%
Riesgo réplica (igual rentabilidad)	6,359%

