



**Universidad**  
Zaragoza

# TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

**“Simulación de Monte Carlo para el análisis de carteras: evaluación de  
eficiencia, resiliencia y riesgo extremo bajo escenarios  
macroeconómicos”**

Elaborado por:  
FRANCISCO PINA SEBASTIÁN

Dirigido por:  
PATRICIA BACHILLER BAROJA

# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	6
2.	FUNDAMENTOS DE LA GESTIÓN DE CARTERAS .....	7
2.1.	ETFs INVERSOS .....	9
3.	METODOLOGÍA.....	9
3.1.	HERRAMIENTAS .....	9
3.2.	SIMULACIÓN DE MONTECARLO .....	10
3.3.	DISEÑO DE LAS CARTERAS .....	11
3.3.1.	CARTERAS DE INVERSIÓN.....	12
3.4.	ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS .....	13
3.4.1.	ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LAS CARTERAS.....	20
3.5.	ESTIMACIÓN DE LA TASA LIBRE DE RIESGO .....	23
3.5.	DEFINICIÓN DE ESCENARIOS .....	24
4.	RESULTADOS Y MÉTRICAS DE LAS SIMULACIONES .....	26
4.1.	ESTABILIDAD .....	26
4.2.	EXPANSIÓN .....	29
4.3.	RECESIÓN.....	30
4.4.	TENSIÓN INFLACIONARIA.....	32
4.5.	RESUMEN DE LOS RESULTADOS.....	34
5.	CONCLUSIONES.....	35
6.	LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	37
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	39
8.	ANEXOS.....	39

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rentabilidades y Volatilidades Individuales .....	15
Tabla 2 Matriz de Covarianzas .....	16
Tabla 3 Parametros del Benchmark .....	17
Tabla 4 Betas de cada activo.....	18
Tabla 5 Porcentaje de cada activo dentro del Benchmark .....	18
Tabla 6 Parámetros de las carteras.....	20
Tabla 7 Medidas de desempeño y eficiencia, escenario estabilidad.....	26
Tabla 8 Alfa de Jensen y max drawdown Escenario Estabilidad .....	27
Tabla 9 Parámetros de rendimiento y eficiencia Escenario expansión.....	29
Tabla 10 Alfa de Jensen y Max Drawdown E. Expansión.....	30
Tabla 11 Parámetros de rendimiento y eficiencia Escenario Recesión .....	30
Tabla 12 Alfa de Jensen y Max drawdown E. Recesión.....	31
Tabla 13 Parámetros de rendimiento y eficiencia E. T. Inflacionaria.....	32
Tabla 14 Alfa de Jensen y Max drawdown E.T. Inflacionaria.....	33
Tabla 15 Ranking de carteras.....	34

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Frontera eficiente.....	22
Ilustración 2 Frontera eficiente E. Estabilidad .....	28

## RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Máster realiza un análisis cuantitativo del desempeño de carteras de inversión, construidas con Exchange Traded Funds (ETFs) bajo distintos regímenes macroeconómicos, con el objetivo de evaluar su eficiencia, estabilidad y capacidad de adaptación a entornos cambiantes. El estudio se estructura en una revisión teórica sobre la gestión de carteras y el impacto de factores macroeconómicos en estas, seguida de un desarrollo metodológico basado en simulaciones de Monte Carlo, que permite modelizar la rentabilidad, el riesgo y el comportamiento extremo de las inversiones.

A lo largo de la investigación se analizan diferentes escenarios representativos como expansión, recesión y tensión inflacionaria, contruidos a partir de referencias históricas y supuestos de mercado, con el fin de evaluar el rendimiento de las carteras mediante métricas clave. Esta aproximación permite contrastar la eficiencia relativa de las estrategias de inversión en condiciones de mercado heterogéneas y someterlas a pruebas de resistencia de forma cuantitativa.

Los resultados obtenidos muestran que la solidez de una estrategia de inversión depende tanto de su rentabilidad esperada como de su capacidad para mantener consistencia y proteger el capital en escenarios adversos. La aplicación de simulaciones de Monte Carlo ha permitido evidenciar las fortalezas y vulnerabilidades de las carteras bajo regímenes macroeconómicos contrastantes, ofreciendo una visión más probabilística a los resultados. En conjunto, el estudio subraya la relevancia de la diversificación estructural, el análisis de escenarios y la gestión del riesgo extremo como pilares fundamentales para optimizar la relación riesgo-retorno en un contexto financiero caracterizado por volatilidad e incertidumbre estructural.

# ABSTRACT

This Master's Thesis presents a quantitative analysis of the performance of investment portfolios, builds with Exchange Traded Funds (ETFs) under different macroeconomic regimes, with the objective of evaluating their efficiency, stability, and ability to adapt to changing market conditions. The study is structured around a theoretical review of portfolio management and the influence of macroeconomic factors, followed by a methodological framework based on Monte Carlo simulations, which enables the probabilistic modelling of returns, risk, and extreme investment outcomes.

Throughout the research, representative scenarios such as economic expansion, recession, and inflationary stress are analyzed, constructed using historical references and market assumptions, in order to assess portfolio performance through key metrics. This approach allows for comparing the relative efficiency of investment strategies under heterogeneous market conditions and subjecting them to rigorous quantitative stress tests.

The findings indicate that the robustness of an investment strategy depends not only on its expected returns but also on its ability to maintain consistency and preserve capital under adverse conditions. The application of Monte Carlo simulations has made it possible to identify the strengths and vulnerabilities of portfolios across contrasting macroeconomic regimes, providing a more probabilistic and comprehensive perspective on the results. Overall, the study highlights the importance of structural diversification, scenario analysis and extreme risk management as fundamental pillars for optimising the relationship between risk and return in a financial context characterised by structural volatility and persistent uncertainty.

# 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La gestión de carteras constituye uno de los principales pilares de las finanzas modernas, esta se basa en la búsqueda de una asignación de activos óptima con el fin de maximizar el rendimiento esperado para un nivel de riesgo dado. Desde los trabajos de Markowitz (1952) que sentaron las bases de la teoría moderna de carteras, se han desarrollado numerosos modelos y herramientas que han transformado la forma en la que los inversores construyen y gestionan sus inversiones. En este contexto, la incorporación de los instrumentos derivados supuso un hito en la disciplina, ya que su utilización dentro de la gestión de carteras abrió numerosas posibilidades tanto para la cobertura de riesgos como para el diseño de estrategias sofisticadas de inversión por ello creo que es relevante detallar más acerca de estos.

El término derivado en el contexto financiero de forma regulada podemos decir que es término relativamente reciente ya que data del año 1848 con la creación del CBOT (Chicago Board of Trade). En aquella época eran instrumentos utilizados principalmente como lo que hoy conocemos como “cobertura” ya que nació en origen como una forma de protección contra la volatilidad de los precios de los productos agrícolas. En la actualidad, los derivados financieros juegan un papel fundamental en la gestión de riesgo y en la optimización de carteras de inversión. Instrumentos como los futuros y las opciones son ampliamente utilizados para mitigar la volatilidad de los activos subyacentes, como protección para situaciones adversas de mercado o incluso para maximizar nuestra rentabilidad mediante la especulación de estos.

En la literatura financiera podemos encontrar numerosos estudios sobre el impacto de los derivados en los mercados financieros, en la valoración de las empresas y en la toma de decisiones de inversión. Sin embargo, la relación del perfil de riesgo del inversor y el efecto de los derivados en la rentabilidad y el riesgo de las carteras es un territorio que requiere una mayor exploración. En este sentido, en el presente estudio se analizará si la inclusión de derivados y su forma de inclusión afectarán al binomio rentabilidad-riesgo según el perfil del inversor en distintos escenarios de mercado.

En relación con ello se han establecido una serie de objetivos que nos servirán para entender el punto de partida de la investigación.

El **objetivo principal** es analizar el comportamiento y la eficiencia de distintas carteras de inversión construidas con Exchange Traded Funds (en adelante, ETFs), con y sin

estrategias de cobertura, bajo diferentes escenarios de mercado simulados mediante técnicas de Monte Carlo.

Objetivos específicos:

- Simular el desempeño de 8 carteras de inversión, construidas con ETFs de renta variable, renta fija y activos refugio, en distintos entornos económicos.
- Evaluar el impacto de derivados financieros implícitos (mediante ETFs inversos) como instrumentos de cobertura parcial dentro de la gestión de carteras.
- Comparar el comportamiento de las carteras con y sin cobertura utilizando métricas de eficiencia como la rentabilidad esperada, la volatilidad, el ratio de Sharpe, el índice de Treynor, el Alpha de Jensen y el máximo drawdown.
- Estimar la sensibilidad de cada cartera ante distintos escenarios históricos de mercado (expansión, recesión, inflación elevada y estabilidad), incorporando parámetros empíricos derivados de dichos periodos.
- Determinar en qué condiciones las estrategias de cobertura mediante derivados permiten mejorar la rentabilidad ajustada al riesgo y la resiliencia de las carteras de inversión frente a situaciones adversas.

## 2. FUNDAMENTOS DE LA GESTIÓN DE CARTERAS

La gestión de carteras es una disciplina clave en las finanzas modernas. Desde mediados del siglo XX, se han desarrollado numerosas teorías que han influenciado como los inversores particulares y las instituciones financieras construyen y modifican sus portafolios. Estas teorías, han dotado a estos de marcos conceptuales y herramientas matemáticas para la toma de decisiones financieras.

En este sentido, vamos a explorar las contribuciones más importantes en este campo desde la Teoría Moderna de Carteras de Markowitz hasta los modelos multifactoriales más recientes. Harry Markowitz en 1952 publicó el paper “portfolio selection” en el que introdujo el concepto de diversificación óptima sentando las bases de la MPT. Markowitz demostró matemáticamente como una combinación de activos con diferentes niveles de riesgo y de correlación podía maximizar el binomio rentabilidad-riesgo de un portafolio. Markowitz expuso que los inversores no solo debían observar la rentabilidad-riesgo de cada activo sino también la rentabilidad-riesgo del portafolio en su conjunto por lo que daba

mucha importancia a la covarianza entre los activos. Introdujo también el concepto de frontera eficiente que representa un conjunto de portafolios óptimos en el sentido media-varianza en los que un inversor racional. Markowitz con este trabajo sentó las bases para la construcción de portafolios diversificados y es una herramienta fundamental en la optimización de carteras de las instituciones.

El modelo de Markowitz tenía muchas dificultades para ser aplicado en los mercados financieros y además dejó algunas cosas por definir como que cartera coger dentro de la cartera eficiente y por ello en 1964 Sharpe creó el modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model) que simplificó el modelo de Markowitz y lo facilitó para la práctica. Este modelo sugirió que los inversores solo deben preocuparse por el portafolio de mercado y la beta del activo respecto a él. Estableció que los inversores solo se deben preocupar por el riesgo sistemático ( $\beta$ ) y no por el riesgo específico de cada activo ya que este se puede eliminar con una diversificación eficiente. Además, este modelo sirve para el cálculo del coste del capital que es necesario en la valoración de empresas e introdujo el Ratio de Sharpe que mide la rentabilidad de un portafolio ajustada al riesgo. Este modelo sirvió como punto de partida para los modelos multifactoriales como el APT o el modelo de Fama-French que incorporan más factores de riesgo.

El APT o Arbitrage Pricing Theory fue desarrollado en 1976 por Stephen Ross en el que exponía que los rendimientos de los activos no solo dependen del mercado en su conjunto sino de una serie de factores de riesgo que Ross no definió, pero se suelen usar en la literatura factores como (Tipos de interés, crecimiento económico e inflación) dentro de la ecuación matemática. Además, Ross argumentó que, si dos activos están expuestos a los mismos factores de riesgo, pero precios distintos los inversores harán arbitraje hasta el ajuste de precios de estos siendo esto lo que le da validez al modelo. El APT sirvió como base para las estrategias de inversión sistemática y los fondos denominados “Smart Beta”.

El modelo de Fama-French se puede decir que es una extensión del APT ya que Fama-French especificaron los factores específicos. El modelo original contaba con 3 factores específicos que eran el factor mercado, el factor tamaño y el factor valor que posteriormente fueron ampliados a 5 incluyendo la rentabilidad y la inversión. Este modelo fue muy impactante en la gestión de carteras ya que permitía explicar mejor la variabilidad de los retornos, sirvió de base para el factor investing donde los gestores construyen sus carteras en función de un factor específico, sirve de gran ayuda para

reducir la exposición a riesgos específicos e incluso llega a cuestionar la eficiencia del mercado ya que si factores como el tamaño o el valor influyen en la rentabilidad podría ser que el mercado fuera ineficiente.

## ***2.1. ETFs INVERSOS***

La implantación de derivados de cobertura en este trabajo se va a realizar con ETFs inversos. Estos ETFs inversos están diseñados para replicar un índice de referencia de forma inversa. Para lograrlo, estos productos utilizan derivados financieros como futuros o swaps lo que les permite ofrecer una posición corta a un determinado activo sin necesidad de realizar operaciones en corto.

Estos ETFs cuentan con varias ventajas, entre ellas destacan la facilidad de acceso a estrategias bajistas sin necesidad de apalancamiento directo, su mayor liquidez intradía y su facilidad operativa para el inversor. Además, permiten a los gestores implementar estrategias de cobertura táctica reduciendo la exposición direccional de forma rápida y flexible.

No obstante, presentan algunos riesgos y limitaciones. El principal es el Tracking Error a largo plazo, esto se debe a la replicación inversa se realiza sobre una base diaria. Esto implica que en periodos de alta volatilidad el rendimiento acumulado del ETF inverso puede desviarse significativamente del inverso exacto del índice. Además, el uso de estos aumenta los costes y aumenta el riesgo de contrapartida.

Los ETFs inversos representan una estrategia eficiente para implementar coberturas y estrategias bajistas siempre que se comprendan sus limitaciones técnicas y operativas. Su correcta implementación permite mejorar la resiliencia de una cartera frente a escenarios adversos pero su uso requiere de una gestión activa y un profundo conocimiento de estos instrumentos y sus riesgos asociados.

# **3. METODOLOGÍA**

## ***3.1. HERRAMIENTAS***

El presente trabajo se ha desarrollado con el objetivo de realizar un análisis de distintas composiciones de carteras a lo largo de una década mediante un análisis cuantitativo. Los distintos perfiles de cartera se van a medir mediante distintas simulaciones de Montecarlo. El enfoque adoptado en el trabajo ha sido cuantitativo, utilizando programación en Python

como principal herramienta para la obtención, tratamiento y análisis de datos financieros. Se ha hecho uso de librerías especializadas en lenguaje matemático dentro de Python como son NumPy, Pandas, Matplotlib e yFinance como herramientas necesarias para la obtención de datos históricos, cálculos estadísticos y representación visual de los resultados.

### ***3.2. SIMULACIÓN DE MONTECARLO***

La simulación de Monte Carlo es una técnica estadística que tiene la capacidad de poder modelar el comportamiento de variables aleatorias mediante la generación de un gran número de escenarios posibles. En el ámbito financiero, se utiliza para estimar la evolución futura de un activo financiero o de una cartera de inversión teniendo en cuenta la incertidumbre inherente en los mercados financieros.

Este método consiste en generar múltiples trayectorias posibles para los activos financieros que forman parte de una cartera, basándose en datos financieros históricos como la rentabilidad, la volatilidad y la correlación con el resto de los activos de la cartera.

La razón principal para utilizar esta técnica en este trabajo es su capacidad para capturar la incertidumbre y la naturaleza estocástica de los mercados financieros. A diferencia de los modelos con carácter determinista que ofrecen soluciones basadas en promedios, Monte Carlo permite modelar el comportamiento de la cartera bajo distintas condiciones de mercado.

Monte Carlo es capaz de:

- Modelar la incertidumbre (volatilidad).
- Comparar los rendimientos entre distintas carteras.
- Visualizar la posible distribución de los valores de la cartera y cuantificar su riesgo.
- Estimar métricas de rentabilidad y riesgo.
- Simular las carteras bajo distintas condiciones de mercado.

Por lo que Monte Carlo será la herramienta matemática que nos proporcione una base empírica para la toma de decisiones financieras. En este trabajo, el uso de simulaciones de Monte Carlo no solo se usará para proyectar posibles escenarios futuros, sino también para crear una comparativa entre carteras o estrategias de inversión.

### **3.3. DISEÑO DE LAS CARTERAS**

Para comparar carteras de inversión, el diseño en términos de distribución entre categorías de activos y selección de estos son elementos clave para optimizar el binomio rentabilidad-riesgo. Tradicionalmente, la inversión directa en activos financieros, como acciones individuales o bonos específicos, ha sido la vía más común para estructurar las carteras. Sin embargo, este trabajo trata de eliminar la habilidad de selección (“stock picking”) de la ecuación por lo que no se realizará con acciones o bonos individuales sino con ETFs. Estos ETFs tienen algunas ventajas a la hora de realizar una simulación de Monte Carlo frente al uso de activos financieros individuales.

- **Es capaz de dotar de diversificación y representatividad del mercado a la cartera:** Los ETFs permiten tener una amplia representación del mercado subyacente, ya sea de renta fija o de renta variable. Al trabajar con ETFs reducimos la exposición a riesgos idiosincráticos, permitiendo que la simulación refleje mejor el comportamiento del mercado que se busca representar.
- **Hace que la modelización sea mucho más eficiente:** Si trabajas con un gran número de acciones individuales la complejidad computacional aumenta y la necesidad de datos aumenta de forma exponencial, por lo que la utilización de ETFs representativos permiten que el modelo siga siendo manejable sin perder el carácter de diversificación que buscamos. Esto permite facilitar la interpretación de resultados y la implementación del código para simulaciones de Monte Carlo.
- **Mayor realismo:** Los ETFs muestran una aproximación más realista al rendimiento de una cartera de inversión. Son capaces de capturar factores que se incurren al operar en el mercado como son los costes de transacción, los spreads de precio y los costes de gestión. Los costes de gestión serán eliminados antes de realizar la simulación porque nuestro análisis se realizará desde la visión de un gestor profesional.

Vamos a diseñar las 8 carteras para simular y analizar sus resultados. Estas 8 carteras utilizarán combinaciones de ETFs de renta fija, renta variable y derivados. El objetivo es comprobar cómo se comportan distintas estructuras de cartera bajo distintos escenarios de mercado mediante una simulación de Monte Carlo, que permitirá realizar una comparación entre composiciones de carteras mediante métricas clave que se describirán con posterioridad.

Los ETFs serán representativos, con diferentes grados de exposición a distintos tipos de activos, añadiendo además derivados como instrumentos de cobertura. Este enfoque nos permitirá identificar que estructuras de cartera pueden ofrecer mejor comportamiento ajustado al riesgo bajo distintos contextos de mercado.

### *3.3.1. CARTERAS DE INVERSIÓN*

1. Safe y Sure Capital (SURECAP): Esta tiene como objetivo preservar el capital con una volatilidad mínima.  
composición:
  - 30% en GLD (Oro)
  - 30% en SHV (Bonos del Tesoro USA entre 0 y 1 año)
  - 40% SHY (Bonos del Tesoro USA entre 1 y 3 años)
2. Yield Curve Capture (YIELDCURV): Su objetivo principal es capturar el rendimiento de la curva de bonos.
  - 25% en SHY (Bonos del Tesoro USA entre 1 y 3 años)
  - 40% en IEF (Bonos USA entre 7 y 10 años)
  - 35% en TLT (Bonos USA a largo plazo)
3. Credit Enhanced Income (CREDPLUS): Busca apoyarse en la Renta Fija, pero buscar una mayor rentabilidad a la cartera a través del riesgo crediticio.
  - 40% en LQD (Bonos corporativos con grado de inversión)
  - 30% en HYG (Bonos corporativos High Yield)
  - 30% en SHY (Bonos del Tesoro USA entre 1 y 3 años)
4. Defensive USA Equity (DEFUSA): Busca un crecimiento moderado que pueda rendir en múltiples escenarios.
  - 40% en SPY (SP500)
  - 20% en GLD (Oro)
  - 20% en SHY (Bonos del Tesoro USA entre 1 y 3 años)
  - 20% en SHV (Bonos del Tesoro USA entre 0 y 1 año)
5. Agresive US Equity focus (RISKUSA): Busca rentabilidad elevada soportando un riesgo elevado.
  - 30% en SPY (SP500)
  - 30% en QQQ (Nasdaq-100)
  - 20% en IWM (Russell 2000)
  - 20% en SHY (Bonos del Tesoro USA entre 1 y 3 años)

6. Hedged US Equity (HEDGEUSA): Busca una rentabilidad elevada, pero con cobertura para mitigar el riesgo.
  - 30% en SPY (SP500)
  - 30% en QQQ (Nasdaq-100)
  - 20% en SH (inverso del SP500)
  - 20% en SHV (Bonos del Tesoro USA entre 0 y 1 año)
7. Tech-Neutral Strategy (TECHNEUTRA): Busca alta rentabilidad, pero neutralizando el riesgo tecnológico.
  - 30% en SPY (SP500)
  - 25% en QQQ (Nasdaq-100)
  - 25% en PSQ (inverso del QQQ)
  - 20% en GLD (Oro)
8. All-Weather portfolio (ALLGUARD): Busca resiliencia a crisis y rendir bien en cualquier escenario de mercado.
  - 30% en GLD (Oro)
  - 30% en SPY (SP500)
  - 20% en SHY (Bonos del Tesoro USA entre 1 y 3 años)
  - 10% en SHV (Bonos del Tesoro USA entre 0 y 1 año)
  - 10% en IEF (Bonos USA entre 7 y 10 años)

### ***3.4. ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS***

Para llevar a cabo una simulación de Monte Carlo que permita modelizar el comportamiento futuro de una cartera de inversión, es imprescindible proveer al modelo de una base cuantitativa sólida. En este sentido, es necesario calcular una serie de parámetros estadísticos fundamentales tanto a nivel individual (por ETF) como a nivel agregado (cartera).

Por ello, se deben estimar para cada ETF los siguientes parámetros:

- **Rentabilidad esperada:** esta refleja el rendimiento medio histórico del activo de forma anualizada y permitirá dotar al modelo de una base sólida para proyectar las distintas trayectorias.

- **Volatilidad:** la volatilidad será medida con la desviación típica media de las rentabilidades históricas del activo, siendo una aproximación al riesgo del activo.
- **Matriz de Covarianzas:** permite cuantificar cómo varían conjuntamente las rentabilidades de los distintos ETF. Este elemento es clave para generar simulaciones multivariantes consistentes, pudiendo así respetar las correlaciones observadas en los datos históricos.
- **Beta:** representa la sensibilidad de cada ETF respecto al comportamiento de un índice de referencia (benchmarkt). Este parámetro es relevante para contrastar el riesgo sistemático frente al total y permitiéndonos realizar posteriormente un análisis de eficiencia entre carteras.

Los cálculos de los parámetros necesarios para la simulación se han realizado a partir de datos históricos diarios comprendidos entre el **1 de enero de 2015** y el **31 de diciembre de 2024 (10 años)**, lo que supone un total de **2.515** observaciones correspondientes a todos los días de apertura de los mercados bursátiles en dicho periodo. No obstante, se han detectado ausencias de datos para dos activos concretos SHY e IEF.

Ambos presentan un vacío de información desde el 1 de enero de 2015 hasta el 8 de julio de 2015 unas 127 observaciones. Con el objetivo de mantener la homogeneidad de la longitud de las series temporales y no excluir estos activos del análisis, se ha optado por imputar las rentabilidades diarias faltantes para el cálculo del benchmarkt sintético se ha optado por un criterio sencillo para razonable. Se ha asumido que la rentabilidad diaria durante este intervalo es igual a la media diaria del resto del periodo observado para cada uno de estos ETF.

Esta decisión se justifica por varias razones:

- **Ambos son activos de renta fija:** donde tanto las variaciones de precios como la volatilidad son reducidas y muy inferiores a las de los activos de renta variable.
- **La proporción de observaciones imputadas es baja:** estas representan apenas el 5% del total de observaciones.
- **Las rentabilidades diarias medias durante el periodo observado son muy próximas a 0:** del orden de  $5 \times 10^{-5}$ , lo que indica que hay muy poca sensibilidad a las perturbaciones puntuales.

A continuación, se presentan en la siguiente tabla las **rentabilidades y volatilidades anualizadas** correspondientes a los ETF analizados, calculadas a partir de lo descrito previamente.

*Tabla 1 Rentabilidades y Volatilidades Individuales*

ÍNDICE	RENTABILIDADES	VOLATILIDAD
SPY	10,50%	17,75%
QQQ	16,06%	21,88%
IWM	6,21%	22,65%
SHY	1,14%	1,63%
TLT	2,33%	15,32%
SHV	1,67%	0,73%
SH	-14,18%	17,78%
PSQ	-20,57%	304,40%
LQD	2,14%	8,64%
IEF	0,55%	6,71%
HYG	3,43%	8,63%
GLD	7,54%	14,12%

*Fuente: Elaboración propia basada en datos de Investing*

Como se puede ver en la tabla los ETF de renta variable ya sean cortos o largos tienen rentabilidades en términos absolutos más elevadas que los de renta fija. Como cabría esperar estos también han demostrado una mayor volatilidad en el periodo cumpliendo con el binomio rentabilidad-riesgo que nos indica que una mayor rentabilidad debería llevar una cantidad de riesgo asociada mayor. El TLT índice de renta fija privada muestra una volatilidad muy elevada y una rentabilidad baja, esto se debe a que es gracias a la rentabilidad vía dividendos por lo que es positiva pero la rentabilidad vía variación de precios se ha visto mermada de forma muy importante estos años. También podemos ver en la tabla que el activo que más se pareció al oro en términos de rentabilidad y volatilidad

es el SP500 lo que reafirma que el oro es un valor refugio, pero tiene una rentabilidad y volatilidad más elevadas que la mayoría de los ETF de renta fija.

Para entender la movilidad conjunta de los distintos activos y dotar de robustez a la simulación se ha calculado la **matriz de covarianzas**, mediante las covarianzas diarias y su posterior anualización, los resultados de esta matriz se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 2 Matriz de Covarianzas

	MATRIZ DE COVARIANZAS											
ÍNDICE	SPY	QQQ	IWM	SHY	TLT	SHV	SH	PSQ	LQD	IEF	HYG	GLD
SPY	0,03	0,03	0,03	0,00	-0,01	0,00	-0,03	-0,04	0,00	0,00	0,01	0,00
QQQ	0,03	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	-0,03	-0,04	0,00	0,00	0,01	0,00
IWM	0,03	0,03	0,05	0,00	-0,01	0,00	-0,03	-0,04	0,00	0,00	0,01	0,00
SHY	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TLT	-0,01	0,00	-0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
SHV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SH	-0,03	-0,03	-0,03	0,00	0,01	0,00	0,03	0,04	0,00	0,00	-0,01	0,00
PSQ	-0,04	-0,04	-0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,05	0,00	0,00	-0,01	0,00
LQD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
IEF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HYG	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
GLD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02

Fuente: Elaboración propia

El SPY muestra covarianzas positivas y fuertes con el resto de ETF de renta variable, esto es habitual ya que los grandes índices de renta variable suelen moverse en conjunto. El GLD (oro) muestra covarianzas cercanas a 0 con todo el resto de ETF lo que demuestra que el oro se mueve de forma independiente tanto a la renta fija como a la renta variable, lo que refuerza su posición de activo diversificador. Esta matriz también demuestra la capacidad del SH y del PSQ como ETF de cobertura de los índices SPY y QQQ ya que tienen una covarianza negativa significativa con ambos y además tienen una covarianza positiva fuerte entre ambos, lo cuál tiene sentido al ser dos índices de renta variable en corto. Por su parte los ETF de renta fija hacen lo propio que los de renta variable y se observa una relación positiva entre ellos. El SH y el SHV tienen una covarianza con todos los ETFs de casi 0 lo que demuestra que se encuentran prácticamente libres de riesgo de

mercado, esto puede representar una alternativa muy útil para diversificar el riesgo de mercado.

Para el cálculo de las betas de los distintos ETF analizados, resulta fundamental disponer de un **benchmark común y consistente** que permita evaluar el comportamiento relativo de cada uno frente a un mismo referente. Dado que los ETF incluidos tratan de representar diferentes clases de activos y no existe un índice de mercado que sea capaz de representarlos de forma agregada y proporcional, **se ha optado por la construcción de un benchmark sintético.**

Este benchmark sintético se ha elaborado a partir de las rentabilidades diarias históricas de los ETF incluidos en las carteras, ponderadas según el peso relativo que estos representan en el total combinado. En cuanto a los ETF de renta fija, cuya rentabilidad proviene tanto de las variaciones de precio del mercado como el devengo periódico de cupones o dividendos, se ha considerado necesario ajustar dichos pagos a lo largo de todo el periodo de análisis. Para ello, se ha realizado un reparto proporcional de los dividendos a lo largo de las 2.515 observaciones diarias, lo que permite mantener la **consistencia interna de las series temporales** y evita que el benchmark se vea afectado de forma puntual en las fechas específicas de la distribución de rendimientos. Este enfoque, garantiza que las rentabilidades atribuibles a los ETF de renta fija no introduzcan sesgos que distorsionen la evolución general del benchmark ni el cálculo de las betas.

En la tabla siguiente se puede ver las ponderaciones de cada uno de los ETF en el benchmark:

En la siguiente tabla se muestran los principales parámetros del benchmark:

*Tabla 3 Parametros del Benchmark*

BENCHMARK	
VOLATILIDAD DIARIA	0,39%
VOLATILIDAD ANUAL	6,13%
RENTABILIDA DIARIA	0,02%
RENTABILIDAD ANUAL	4,51%

*Fuente: Elaboración propia*

Una vez obtenidas las rentabilidades diarias del benchmark ponderadas se ha calculado la varianza de este y la covarianza que tiene con cada uno de los ETF, obteniendo así la Beta con la fórmula covarianza/varianza del mercado.

Obteniendo las siguientes betas para cada uno de los ETF:

*Tabla 4 Betas de cada activo*

ÍNDICE	BETA
SPY	2,52
QQQ	3,05
IWM	2,86
SHY	0,07
TLT	0,43
SHV	0,01
SH	-2,50
PSQ	-3,02
LQD	0,80
IEF	0,26
HYG	1,10
GLD	1,01

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 5 Porcentaje de cada activo dentro del Benchmark*

ÍNDICE	P. TOTAL	P. BENCHMARK
SPY	1,6	20,00%
QQQ	0,85	10,63%
IWM	0,2	2,50%
SHY	1,55	19,38%
TLT	0,35	4,38%
SHV	0,8	10,00%
SH	0,2	2,50%
PSQ	0,25	3,13%
LQD	0,4	5,00%
IEF	0,5	6,25%
HYG	0,3	3,75%
GLD	1	12,50%

*Fuente: Elaboración propia*

Si observamos la tabla anterior, los ETF de renta variable son los más volátiles respecto al benchmark como cabría esperar destacando el QQQ que tiene una volatilidad tres veces mayor a la del benchmark de referencia. Por otro lado, los ETF SHY y SHV muestran una correlación casi nula respecto al benchmark esto fomenta la idea del uso de estos como activos refugio en momentos de condiciones extremas de mercado o de liquidez. Los bonos del tesoro a medio y largo plazo IEF y TLT tienen una sensibilidad mayor respecto al benchmark pero claramente inferior a 1 siendo capaces de aportar estabilidad y cobertura en escenarios de riesgo. La renta fija corporativa LQD y HYG ya muestra sensibilidades cercanas o superiores a uno respecto del benchmark, siendo esta lógica al existir un componente mayor de riesgo de crédito. Los ETF de índices de renta variable en corto SH y PSQ muestran una beta casi simétrica en dirección opuesta a sus índices de posición larga lo que reafirma su valor como uso de cobertura directa.

Una observación especialmente destacable se refiere a la beta del ETF GLD (1,01), que representa la evolución del precio del oro. Tradicionalmente, el oro se ha considerado un activo descorrelacionado incluso inversamente correlacionado con los activos de riesgo, en particular con la renta variable. Sin embargo, el hecho de que su beta respecto al benchmark sintético sea aproximadamente lo sugiere **alta sincronía con la rentabilidad de la cartera agregada** durante el periodo analizado.

Dado que el benchmark construido refleja una combinación ponderada de múltiples clases de activos (renta variable, renta fija de distintas duraciones y calidades crediticias, e instrumentos inversos), esta relación da pie a una posible interpretación:

**La rentabilidad del oro podría estar actuando como un promedio dinámico de los retornos de una cartera diversificada.**

En otras palabras, el comportamiento observado podría indicar que, en el contexto de un portafolio bien diversificado que incorpora distintos tipos de riesgo y duración, el oro ha replicado la rentabilidad media ponderada de dicha exposición. Esta hipótesis resulta especialmente relevante para la literatura acerca de los activos refugio y diversificación, pues sugiere que el oro, más allá de su rol clásico de activo refugio en épocas de incertidumbre, **puede desempeñar un papel de equilibrador estructural** en carteras multiactivo, **reflejando indirectamente el equilibrio de fuerzas entre los distintos tipos de riesgo.**

No obstante, conviene señalar que este resultado puede estar condicionado por las características del periodo histórico considerado. Sería interesante poder contrastar este patrón en diferentes fases del ciclo económico y en ventanas temporales alternativas para validar si esta relación se mantiene o si es un fenómeno puntual.

### 3.4.1. ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LAS CARTERAS

Una vez se ha calculado los parámetros a nivel individual de cada ETF se deben calcular los parámetros a nivel agregado que reflejen el comportamiento global de la cartera. Cada ETF está caracterizado por una rentabilidad, una volatilidad y una beta respecto al índice de referencia, siendo estos parámetros los constituyentes de la base para, modelizar el rendimiento y el riesgo de las combinaciones que conforman cada cartera.

La extrapolación de estos parámetros a nivel de cartera no se realiza de manera uniforme. Mientras que la beta y la rentabilidad son magnitudes lineales, que pueden calcularse como la suma ponderada de sus valores individuales según el peso de cada ETF en la cartera, la volatilidad tiene un tratamiento más complejo. Al depender esta de las correlaciones entre los activos, la volatilidad de la cartera se obtiene mediante una matriz de covarianzas que recoge las interacciones entre los distintos ETF. Esta decisión es clave para garantizar la precisión de las simulaciones.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las rentabilidades, volatilidades y betas de cada una de las carteras descritas anteriormente:

*Tabla 6 Parámetros de las carteras*

CARTERA	RENTABILIDAD	VOLATILIDAD	BETA
SURECAP	3,22%	4,54%	0,33
YELDCURV	1,32%	8,59%	0,27
CREDPLUS	2,23%	5,52%	0,67
DEFUSA	6,27%	7,79%	1,23
RISKUSA	9,44%	15,29%	1,68
HEDGEUSA	5,47%	8,14%	1,17
TECHNEUTRA	3,53%	6,25%	1,12
ALLGUARD	5,86%	7,15%	1,10

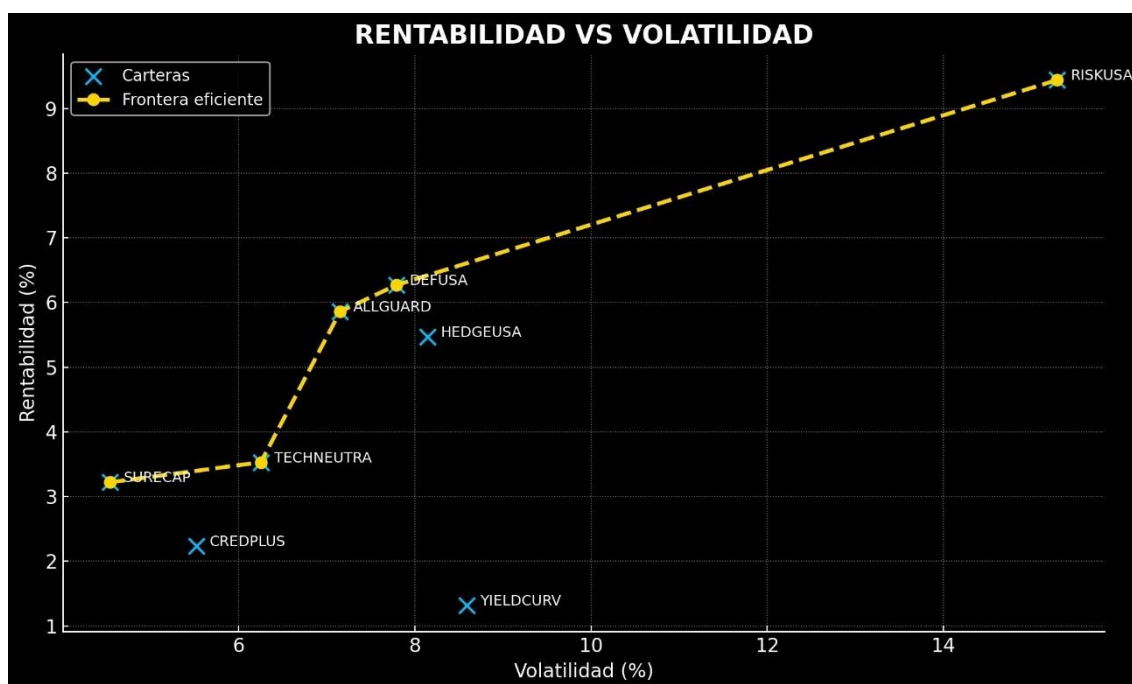
*Fuente: Elaboración propia*

Se observa una amplia gama de perfiles de riesgo, desde alternativas claramente conservadoras hasta propuestas más orientadas al crecimiento. Esta variedad confirma el propósito de representar diferentes estilos de inversión, permitiendo así la comparación entre los distintos enfoques que tienen los gestores de carteras.

En el extremo superior del binomio rentabilidad-riesgo se sitúa **RISKUSA**, cuya elevada rentabilidad esperada (9,44%) se justifica por su exposición significativa a la renta variable, incluyendo índices de crecimiento y de pequeña capitalización. Por el contrario, estrategias como **SURECAP** o **YIELDCURVE** presentan estructuras fuertemente defensivas, con predominancia de activos monetarios y renta fija a corto y largo plazo, haciendo que tengan una sensibilidad mínima al mercado (betas  $<0,35$ ). Entre ambos extremos, carteras como **DEFUSA** y **ALLGUARD**, integrando combinaciones de renta fija, renta variable y oro muestran una rentabilidad-riesgo competitiva con una sensibilidad al benchmark cercana a la unidad. Asimismo, carteras como **TECHNEUTRA** o **HEDGEUSA** incorporan coberturas direccionales a través de ETF inversos, reduciendo la exposición al riesgo sistémico sin sacrificar totalmente el retorno.

El siguiente gráfico sitúa cada cartera en el espacio rentabilidad-volatilidad (riesgo) permitiendo evaluar visualmente la eficiencia relativa de cada una de ellas. La frontera eficiente se ha construido conectando las carteras no dominadas, es decir, aquellas que ofrecen la mayor rentabilidad esperada posible para un determinado nivel de riesgo. Las carteras sobre esta línea constituyen las combinaciones más atractivas desde un punto de vista teórico bajo el enfoque media-varianza, mientras que las que quedan por debajo de esta línea quedan dominadas en términos de eficiencia. Este enfoque permite comparar de forma rigurosa los distintos perfiles y analizar cuáles ofrecen un mejor compromiso entre rentabilidad y volatilidad.

Ilustración 1 Frontera eficiente



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar cómo **RISKUSA** domina el extremo más agresivo del espectro, con la mayor rentabilidad y volatilidad. En el tramo intermedio de la frontera se observa como **ALLGUARD** Y **DEFUSA** dominan a **HEDGEUSA** al ofrecer un balance más eficiente entre riesgo y retorno. Otras carteras como **CREDPLUS** y **YELDCURVE** quedan claramente por debajo de la frontera eficiente, existiendo alternativas más rentables dentro del conjunto.

La representación de las carteras en el espacio rentabilidad-volatilidad y la identificación de la frontera eficiente en el escenario base permite establecer una referencia inicial para el análisis comparativo posterior. Este escenario, refleja un comportamiento pasado bajo condiciones de mercado diversas, incluyendo fases de expansión, de crisis y cambios de política monetaria. En consecuencia, las posiciones observadas no pertenecen a un contexto económico único, sino a una agregación de múltiples condiciones de mercado. Esto nos muestra que las carteras situadas sobre la frontera eficiente, en este contexto histórico, las combinaciones más eficientes rentabilidad riesgo, mientras que aquellas que están por debajo ofrecen la posibilidad de analizar en qué entornos concretos podrían mejorar su comportamiento relativo.

Esto es valioso para la posterior simulación de Monte Carlo ya que esta incluirá un escenario base (que vendrá definido por estos datos) y cuatro entornos específicos: estabilidad económica, boom de crecimiento, recesión e inflación alta y tipos elevados permitiendo así observar cómo varía la eficiencia de cada cartera en función de las condiciones de mercado. Por lo tanto, Monte Carlo nos arrojará si existen unas carteras más eficientes que otras bajo todas las condiciones de mercado que se trataran en el presente trabajo o si por el contrario la frontera eficiente se ve modificada bajo distintas condiciones de mercado. Por lo que esta frontera eficiente no debe entenderse como un criterio definitivo, sino más bien como un benchmark técnico de referencia.

### ***3.5. ESTIMACIÓN DE LA TASA LIBRE DE RIESGO***

Con el objetivo de mantener la coherencia temporal en la estimación de los parámetros, la tasa libre de riesgo utilizada se ha calculado como **la media de los rendimientos anuales del bono soberano estadounidense a 10 años**, tomando el mismo periodo de tiempo que se ha utilizado para la estimación de las rentabilidades, volatilidades y betas de las carteras. Se ha realizado con esta métrica ya que es una aproximación realista de la rentabilidad libre de riesgo para los inversores institucionales con un horizonte temporal del medio y largo plazo, siendo una referencia ampliamente aceptada y utilizada en la literatura financiera.

La tasa libre de riesgo es un elemento fundamental para el cálculo de varias métricas de eficiencia, ya que es el umbral mínimo de rentabilidad exigible. En concreto, es indispensable para estimar el **Ratio de Sharpe**, que mide la rentabilidad adicional obtenida por unidad de riesgo asumido. También es necesaria para el cálculo del Índice de Treynor, donde la rentabilidad excedente se compara con el riesgo sistemático (beta), permitiendo evaluar el rendimiento ajustado al riesgo de mercado. Asimismo, el **Alfa de Jensen** requiere descontar la rentabilidad libre de riesgo para identificar si una cartera ha generado un exceso de retorno superior al que justificaría su exposición al riesgo sistemático, bajo el paraguas del modelo CAPM.

El resultado fue de una tasa libre de riesgo (RF) de **2,48%**.

### ***3.5. DEFINICIÓN DE ESCENARIOS***

Con el objetivo de analizar el comportamiento de las carteras bajo distintos contextos macroeconómicos, se han definido cuatro escenarios diferenciados: expansión, recesión, tensión inflacionaria y estabilidad. A partir de los datos históricos previamente obtenidos, se aplican ajustes sobre los parámetros de rentabilidad y volatilidad del benchmark con el fin de aproximar la dinámica de cada régimen de mercado.

Para la parametrización de los escenarios se ha recurrido a la literatura financiera y a los datos históricos en busca de aportar consistencia financiera a la parametrización. G. William Schwert (1989) dijo que “la volatilidad incrementa en épocas de recesión y crisis financieras” en contraposición con las épocas de expansión. En esta línea, Campbell & Hentschel (1992) documentan que shocks negativos en precios llevan a incrementos de varianza y a caídas más severas de retornos en activos con betas altas. Sharpe (1964) en el modelo CAPM establece que los activos tienen un mayor rendimiento cuando tienen una beta mayor justificando unos mayores rendimientos de este tipo de activos en épocas de expansión. La literatura financiera nos aporta una información valiosa para saber como se deberían mover en cuanto a dirección la rentabilidad y el riesgo de un activo financiero, pero no es capaz de detallar cuál sería la magnitud de estos movimientos. Para estimar la magnitud de estos movimientos se ha decidido mirar a los datos históricos de periodos que se podrían asemejar a estas fases de mercado. Se han tenido en cuenta como determinantes de las fases que el PIB y la inflación de Estados Unidos, así como características dentro del mercado bursátil que vayan en la misma dirección que la literatura científica.

La selección de los periodos históricos se ha hecho a partir del año 1980. Esto se debe a dos motivos principales. En primer lugar, a partir de dicha década es más sencillo encontrar series temporales completas y comparables para los distintos activos financieros, además se dispone de estadísticas oficiales de alta calidad. En segundo lugar, los cambios estructurales que han sufrido los mercados financieros en esta era reciente por ejemplo la ruptura del sistema de Bretton Woods, la liberalización de los tipos de cambio, la consolidación de los bancos centrales modernos o la aparición de internet. Por lo tanto, centrar el análisis en años posteriores a este año aseguran una coherencia metodológica mayor respecto a la estructura actual de los mercados.

Como los ETF (Exchange Traded Funds) no existían para todos los periodos analizados se va a coger el activo subyacente de cada uno de ellos como referencia para todos los periodos.

Los periodos elegidos han sido:

Boom económico: 2003-2005 y 2017-2019

Recesión: 1982,1991, 2001-2002 y 2008-2009

Tensión inflacionaria: 1980-1981,1989-1990,2022-2023

### EXPANSIÓN

En fases de crecimiento económico sostenido, los mercados financieros suelen presentar rendimientos superiores a la media y una reducción de la volatilidad derivada de la mayor confianza inversora. Para capturar este efecto, se aplican los siguientes ajustes:

Retornos\_mod=1+0,4\*Beta

Volatilidades\_Mod=1-0,2\*Beta

### RECESIÓN

En períodos recesivos, la actividad económica se contrae, lo que repercute en una caída de los retornos esperados y un incremento significativo de la incertidumbre en los mercados. Para reflejar este entorno adverso, se definen las siguientes transformaciones:

Retornos\_mod=1-0,5\*Beta

Volatilidades\_mod=1+0,6\*Beta

### TENSIÓN INFLACIONARIA

La inflación elevada erosiona la rentabilidad real de los activos financieros y genera alta volatilidad, especialmente en renta fija y divisas. Para simular este régimen, se introducen los siguientes ajustes:

Retornos\_mod=1-0,25\*Beta

Volatilidades\_mod=1+0,8\*Beta

### ESTABILIDAD

Finalmente, se considera un escenario de estabilidad en el que no se aplican transformaciones adicionales sobre los parámetros históricos. En este caso, la simulación

de Monte Carlo se ejecuta directamente con los datos obtenidos, bajo la premisa de que períodos prolongados de estabilidad constituyen una aproximación adecuada a un rendimiento medio y estable de los activos.

## 4. RESULTADOS Y MÉTRICAS DE LAS SIMULACIONES

### 4.1. ESTABILIDAD

Tras realizar la simulación con la metodología empleada para este escenario es decir la no modificación de los parámetros rentabilidad y volatilidad hemos obtenido los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

*Tabla 7 Medidas de desempeño y eficiencia, escenario estabilidad*

CARTERA	Expected Return	Simulated volatility	Sharpe ratio	Treynor ratio
ALLGUARD	0,059	0,072	<b>0,475</b>	0,031
DEFUSA	0,062	0,078	0,472	0,030
RISKUSA	<b>0,087</b>	0,153	0,408	<b>0,037</b>
HEDGEUSA	0,053	0,081	0,348	0,024
SURECAP	0,032	<b>0,045</b>	0,156	0,021
TECHNEUTRA	0,034	0,063	0,151	0,008
CREDPLUS	0,021	0,055	-0,063	-0,005
YIELDCURVE	0,011	0,086	-0,167	-0,053

*Fuente: Elaboración propia*

Vemos que en este escenario las carteras que muestran una mayor eficiencia son ALLGUARD y DEFUSA, ambas con un Sharpe ratio cercano al 0,5 liderando el ranking de rentabilidad ajustada al riesgo total. Tienen composiciones bastante similares ya que ambas se apoyan en dos activos principalmente el SPY y el oro lo cuál podría darnos un denominador común.

Es muy interesante el comportamiento de RISKUSA que tiene la mayor rentabilidad absoluta (8,7%) y la mayor volatilidad (15,3%). Sorprendentemente, su ratio de Treynor es el más alto de las 8 a pesar de su alta volatilidad. Sin embargo, si observamos su

composición (100% renta variable) podemos ver que al ser activos con una beta elevada y en un entorno estable, pero con rendimientos positivos en renta variable, esa exposición es premiada. La cartera consigue extraer así un rendimiento superior por unidad de riesgo sistemático, lo que refuerza su lógica interna: es eficiente para perfiles con alta tolerancia al riesgo en el largo plazo.

La cartera HEDGEUSA por su parte logra una rentabilidad y volatilidad razonables. Su cobertura parcial limita el crecimiento a largo plazo por lo que parece que implementar coberturas parciales continuas no tiene tanto sentido en el largo plazo. Su Sharpe ratio es bueno, pero no competitivo con las mejores.

En cuanto a las estrategias conservadoras únicamente SURECAP parece mostrarse como una opción coherente con su mandato de preservación del capital. Su rentabilidad y volatilidad muestran que una cartera construida por oro y bonos a corto plazo puede ofrecer una estabilidad sin erosionar el capital. Por el contrario, tanto CREDPLUS como YELDCURVE tienen ratios de Sharpe negativos lo que los deja muy lejos del resto en términos de eficiencia.

*Tabla 8 Alfa de Jensen y max drawdown Escenario Estabilidad*

CARTERA	ALPHA JENSEN	MAX DRAWDOWN
ALLGUARD	0,012	-0,110
DEFUSA	0,013	-0,121
RISKUSA	<b>0,029</b>	-0,247
HEDGEUSA	0,0052	-0,134
SURECAP	0,0005	<b>-0,075</b>
TECHNEUTRA	-0,013	-0,111
CREDPLUS	-0,017	-0,101
YELDCURVE	-0,020	-0,191

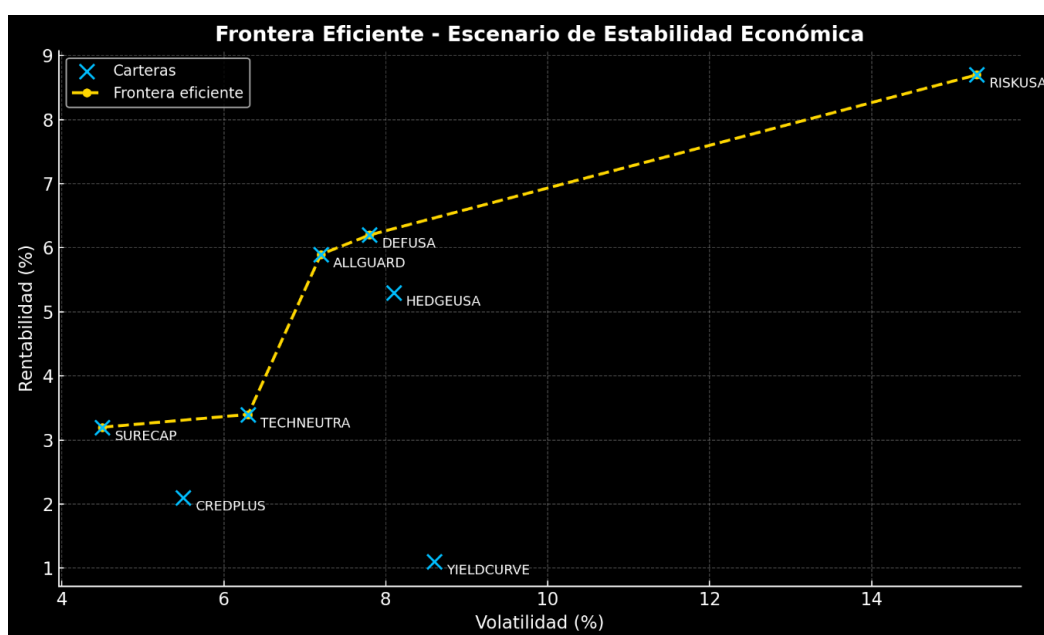
*Fuente: Elaboración propia*

Desde la perspectiva del Alpha de Jensen que mide la rentabilidad ajustada al riesgo sistemático en relación con el benchmark de mercado, las carteras que destacan positivamente son las mismas en términos de Sharpe lo cual tiene bastante sentido

financieramente hablando, siendo RISKUSA muy destacada respecto al resto (0,0291). Indica que ha generado un rendimiento significativamente superior por su exposición al riesgo sistemático. Por su parte DEFUSA y ALLGUARD son capaces de batir al mercado sin asumir una beta elevada. Las tres peores carteras en Sharpe lo son también para el Alpha de Jensen lo que refleja una ineficiencia sistemática estructural en este contexto estable.

En cuanto al **riesgo extremo**, representado por el **Max Drawdown**, los resultados permiten evaluar la capacidad de cada estrategia para proteger el capital frente a eventos adversos aislados. RISUSA sufre el mayor drawdown del conjunto (-24,7%) lo cual no parece sorprendente por su composición, esto evidencia que un inversor en este tipo de carteras deberá ser consciente de que puede haber caídas temporales significativas, aunque potencialmente recuperables. Muchas de las carteras se encuentran entre un drawdown de entre el 10% y 14% entre ellas ALLGUARD, DEFUSA y HEDGEUSA que también eran carteras eficientes en el sentido de Sharpe lo que refuerza su combinación adecuada entre rentabilidad y riesgo. YELDCURVE muestra un máximo drawdown elevadísimo (19,1%) lo cual deja de nuevo en evidencia la poca eficiencia de esta cartera en este escenario.

Ilustración 2 Frontera eficiente E. Estabilidad



Fuente: Elaboración propia

## 4.2. EXPANSIÓN

El entorno de expansión económica está caracterizado por un crecimiento sostenido del PIB, confianza empresarial y de consumidores, y mercados financieros en tendencia alcista tiende a favorecer a los activos de riesgo como la renta variable. En este contexto, es esperable que las carteras con mayor exposición a renta variable se beneficien tanto en rentabilidad absoluta como en métricas ajustadas al riesgo, mientras que las estrategias defensivas o centradas en renta fija queden rezagadas. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en la simulación:

Tabla 9 Parámetros de rendimiento y eficiencia Escenario expansión

CARTERA	Expected Return	Simulated volatility	Sharpe ratio	Treynor ratio
RISKUSA	<b>0,166</b>	0,102	<b>1,393</b>	<b>0,084</b>
DEFUSA	0,097	0,059	1,230	0,059
ALLGUARD	0,868	0,056	1,113	0,056
HEDGEUSA	0,822	0,062	0,922	0,049
TECHNEUTRA	0,051	0,049	0,547	0,024
SURECAP	0,036	<b>0,042</b>	0,267	0,034
CREDPLUS	0,027	0,048	0,054	0,004
YIELDCURVE	0,012	0,081	-0,158	-0,048

Fuente: Elaboración propia

En línea con las expectativas, la cartera RISKUSA se sitúa como líder indiscutible tanto en rentabilidad (16,61%) como en eficiencia obteniendo los ratios de Sharpe (1,391) y de Treynor (0,084) más elevados del conjunto. Esto indica que no solo obtiene el mayor retorno, sino que lo hace con una mejor relación riesgo-rentabilidad. DEFUSA y ALLGUARD le siguen en términos de rentabilidad y de eficiencia. Ambas muestran ratios de sharpe por encima de 1 en épocas de expansión lo que las convierte en muy eficientes en términos de Sharpe.

La cartera YIELDCURVE sigue mostrando un Sharpe y un Treynor negativos incluso en este escenario y los de CREDPLUS son cercanos a 0 por lo que siguen mostrando un pobre desempeño incluso en este escenario. SURECAP es la cartera conservadora que

mejor rinde en este escenario con una volatilidad del 4,2% y una rentabilidad del 3,61%, aunque en este escenario queda lejos de las carteras que tienen renta variable.

Tabla 10 Alfa de Jensen y Max Drawdown E. Expansión

CARTERA	ALPHA JENSEN	MAX DRAWDOWN
RISKUSA	<b>0,091</b>	-0,114
DEFUSA	0,036	-0,066
ALLGUARD	0,029	<b>-0,065</b>
HEDGEUSA	0,023	-0,079
TECHNEUTRA	-0,007	-0,068
SURECAP	0,002	-0,066
CREDPLUS	-0,017	-0,085
YIELDCURVE	-0,021	-0,178

Fuente: Elaboración propia

Si vemos la tabla anterior podemos ver un líder claro en términos de Alpha de Jensen que es RISUSA con un Alpha del 9,1% casi triplicando a la siguiente cartera DEFUSA que aún así logra un destacable 3,57%. Tanto ALLGUARD como HEDGEUSA tienen buenos resultados en esta métrica, pero el máximo drawdown es inferior para la primera (-6,48%) el más bajo de todo el conjunto lo que la deja como una cartera segura y además rentable. La nota negativa vuelve a ser YIELDCURVE con el, pero Alpha de Jensen y max drawdown de todo el conjunto.

### 4.3. RECESIÓN

Tabla 11 Parámetros de rendimiento y eficiencia Escenario Recesión

CARTERA	Expected Return	Simulated volatility	Sharpe ratio	Treynor ratio
SURECAP	<b>0,026</b>	<b>0,054</b>	<b>0,028</b>	<b>0,005</b>
ALLGUARD	0,021	0,119	-0,034	-0,004
DEFUSA	0,016	0,135	-0,066	-0,007
HEDGEUSA	0,015	0,139	-0,071	-0,008
TECHNEUTRA	0,012	0,105	-0,126	-0,012
RISKUSA	-0,020	0,307	-0,147	-0,027
CREDPLUS	0,012	0,077	-0,165	-0,019
YIELDCURVE	0,008	0,100	-0,168	-0,062

Fuente: Elaboración propia

El entorno recesivo se caracteriza por contracción de la actividad económica, deterioro de los beneficios empresariales y huida de capital hacia activos refugio y liquidez. En este contexto, los resultados de la simulación de Monte Carlo muestran un claro deterioro en las rentabilidades esperadas, con valores cercanos a cero en la mayoría de las carteras y en algunos casos incluso negativos, como ocurre en RISKUSA, donde la fuerte exposición a renta variable de crecimiento le hace entrar en pérdidas. La volatilidad se incrementa de manera significativa, especialmente en estrategias con alta dependencia del ciclo económico, como RISKUSA, que alcanza un nivel superior al 30%. Por el contrario, carteras como SURECAP logran mantener la volatilidad en niveles mínimos, confirmando el papel de los activos de corta duración y del oro como estabilizadores del riesgo en periodos de recesión.

En términos de eficiencia, los ratios de Sharpe y Treynor ponen de manifiesto la dificultad de obtener retornos ajustados al riesgo en fases recesivas. La mayoría de las carteras presentan valores negativos, lo que indica que el exceso de riesgo no se ve compensado por una rentabilidad acorde. Únicamente SURECAP consigue mantener ratios positivos, aunque de forma marginal, reforzando su carácter de preservación de capital más que de búsqueda de rentabilidad. El resto de carteras, incluso aquellas concebidas como diversificadas (ALLGUARD) o con coberturas parciales (HEDGEUSA), no logran escapar al efecto sistémico de la recesión, mostrando Sharpe y Treynor en terreno negativo.

*Tabla 12 Alfa de Jensen y Max drawdown E. Recesión*

CARTERA	ALPHA JENSEN	MAX DRAWDOWN
SURECAP	<b>0,000</b>	<b>-0,100</b>
ALLGUARD	-0,011	-0,245
DEFUSA	-0,016	-0,283
HEDGEUSA	-0,017	-0,290
TECHNEUTRA	-0,020	-0,227
RISKUSA	-0,055	-0,569
CREDPLUS	-0,017	-0,170
YELDCURVE	-0,018	-0,224

*Fuente: Elaboración propia*

Ninguna cartera genera alpha positivo, lo que indica que la gestión activa es incapaz de batir al mercado ajustado por riesgo en este escenario. En cuanto al drawdown, los resultados son coherentes con episodios históricos de recesión severa: las carteras más expuestas a renta variable (RISKUSA, DEFUSA y HEDGEUSA) sufren retrocesos de entre el -28% y el -57%, reflejando la magnitud de las caídas en los mercados bursátiles en fases de contracción. Si miramos los periodos de referencia para este escenario vemos que la simulación es coherente ya que la crisis de las .com el SP500 recibió un castigo cercano al 50% y en la crisis financiera incluso superior a esta cifra. Por otro lado, las carteras más conservadoras (SURECAP y CREDPLUS) logran contener las pérdidas extremas en torno al -10% y -17%, respectivamente, lo que valida el uso de activos defensivos como oro, liquidez y bonos de muy corto plazo en momentos de estrés.

#### 4.4. TENSION INFLACIONARIA

Tabla 13 Parámetros de rendimiento y eficiencia E. T. Inflacionaria

CARTERA	Expected Return	Simulated volatility	Sharpe ratio	Treynor ratio
ALLGUARD	<b>0,036</b>	0,134	<b>0,083</b>	0,010
SURECAP	0,028	<b>0,057</b>	0,063	<b>0,011</b>
DEFUSA	0,034	0,155	0,056	0,007
HEDGEUSA	0,030	0,158	0,306	0,004
TECHNEUTRA	0,020	0,118	-0,038	-0,004
RISKUSA	0,007	0,358	-0,050	-0,011
CREDPLUS	0,015	0,085	-0,111	-0,014
YIELDCURV	0,009	0,104	-0,149	-0,058

Fuente: Elaboración propia

En el escenario simulado de tensión inflacionaria, caracterizado por el repunte sostenido de los precios, políticas monetarias contractivas y endurecimiento de las condiciones financieras (subidas de tipos de interés), los resultados de la simulación de Monte Carlo reflejan una lógica dispersión en los perfiles de riesgo-retorno de las distintas carteras analizadas. Las rentabilidades esperadas muestran un rango amplio, desde valores próximos a cero (como en RISKUSA y YIELDCURV) hasta un máximo del 3,6% en la

cartera ALLGUARD. Cabe destacar que la rentabilidad en este escenario al contrario que en los anteriores no guarda una relación directa con la exposición a renta variable, ya que la cartera construida con pura renta variable (RISKUSA) han obtenido rendimientos esperados cercanos a 0, lo que refleja la penalización que sufre la renta variable en entornos inflacionarios elevados. En cuanto a la volatilidad, se observa una relación estructural clara: aquellas carteras con mayor duración (como YIELDCURV) o exposición a la renta variable presentan los niveles más altos de riesgo, mientras que aquellas con predominancia de activos de corta duración o refugio, como SURECAP, muestran las menores volatilidades, por debajo del 6%. Esta heterogeneidad es coherente con el comportamiento típico de los activos en contextos donde la inflación eleva la incertidumbre de los mercados.

En cuanto a las medidas de eficiencia se observa tanto para Sharpe como para Treynor que las mejores carteras tienen un denominador común llamado oro. También podemos ver buenos resultados en HEDGEUSA demostrando que quizá una cobertura parcial es efectiva en este tipo de escenarios. En términos de eficiencia la renta variable se ve castigada también mostrando un Sharpe y un Treynor negativo, esto se extiende también a TECHNEUTRA, CREDPLUS y YIELDCURV.

Tabla 14 Alfa de Jensen y Max drawdown E.T. Inflacionaria

CARTERA	ALPHA JENSEN	MAX DRAWDOWN
ALLGUARD	-0,001	-0,258
SURECAP	<b>0,000</b>	<b>-0,105</b>
DEFUSA	-0,005	-0,298
HEDGEUSA	-0,009	-0,309
TECHNEUTRA	-0,017	-0,245
RISKUSA	-0,037	-0,600
CREDPLUS	-0,017	-0,182
YIELDCURV	-0,019	-0,231

Fuente: Elaboración propia

En términos de alpha de Jensen, los resultados son en general negativos, lo que refleja que ninguna estrategia ha conseguido superar al mercado ajustado por riesgo en un entorno dominado por fuerzas sistémicas, como el repunte de los tipos de interés y la

erosión de los múltiplos bursátiles. Únicamente la cartera SURECAP alcanza un alpha nulo (0,000), lo que confirma su naturaleza puramente defensiva y coherente con su objetivo de preservación de capital, mientras que el resto de las carteras muestran valores negativos, siendo más acusado en estrategias con mayor exposición a renta variable o crédito. En cuanto al Max Drawdown los resultados son muy elevados, aunque esperables, RISKUSA tiene un 60% y aún carteras con oro o cobertura como DEFUSA y HEDGEUSA se van a un 30%. Gran desempeño de SURECAP que con su naturaleza defensiva y de preservación de capital consigue que su Max Drawdown sea del 10,5% un dato muy positivo respecto al resto.

#### **4.5. RESUMEN DE LOS RESULTADOS**

En este apartado se va a realizar un análisis conjunto de todas las carteras bajo todos los escenarios planteados en la simulación. Para ello se han escogido 4 métricas clave que se han ido presentando para cada escenario (Exp Return, Volatilidad, Sharpe y Jensen) con el objetivo de tratar de analizar si ha habido carteras superiores a otras en el conjunto de todos los escenarios. Se han ordenado las carteras por posición para cada una de las métricas previamente comentadas para cada uno de los escenarios y se ha realizado un promedio para obtener las posiciones de las carteras (ver ANEXO) y posteriormente se ha realizado una media de las posiciones de cada cartera en cada métrica y se las ha ordenado del 1 al 8 como se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 15 Ranking de carteras*

CARTERA	P.EXP RETURN	P.SIM VOLATILITY	P.SHARPE	P.JENSEN	PROMEDIO	POSICIÓN FINAL
SURECAP	4	1	3	3	2,75	3
YIELDCURVE	8	5	8	8	7,25	8
CREDPLUS	7	2	7	6	5,5	5
DEFUSA	1	6	2	1	2,5	2
RISKUSA	5	8	4	5	5,5	5
HEDGEUSA	3	7	4	4	4,5	4
TECHNEUTRA	6	3	6	7	5,5	5
ALLGUARD	1	4	1	1	1,75	1

*Fuente: Elaboración propia*

En la parte alta de la clasificación se sitúan ALLGUARD y DEFUSA, ocupando la primera y segunda posición respectivamente. Ambas carteras combinan la renta

variable con activos defensivos, lo que parece que les permite mantener un riesgo-retorno adecuado. ALLGUARD destaca en todas las métricas (en 3 es TOP1) y DEFUSA pese a ser más expuesta a renta variable, se beneficia de una composición que le otorga resiliencia en entornos adversos.

En posiciones intermedias se encuentran SURECAP y HEDGEUSA. La primera confirma su carácter conservador: no lidera en rentabilidad, pero obtiene posiciones muy sólidas en volatilidad y alpha, lo que refuerza su utilidad como herramienta de preservación de capital. HEDGEUSA, por su parte, aunque no alcanza los mejores puestos, logra una clasificación equilibrada gracias al uso de coberturas sobre el equity, que le permiten mejorar su Sharpe ratio en determinados escenarios. Estas estrategias muestran que tanto la ultra-conservadora (SURECAP) como la de cobertura activa (HEDGEUSA) resultan valiosas en contextos de incertidumbre, aunque sin la robustez global de ALLGUARD o DEFUSA.

En el grupo inferior aparecen CREDPLUS, TECHNEUTRA y RISKUSA, todas con un promedio de 5,5 puntos. Pese a tener naturalezas diferentes (crédito, neutralidad tecnológica y renta variable agresiva), comparten que su desempeño es muy dependiente del régimen económico. En escenarios favorables logran buenos resultados en alguna métrica (ej. RISKUSA en rentabilidad), pero se ven penalizadas en exceso cuando cambia el ciclo (volatilidad y drawdowns muy altos). Esto las convierte en apuestas menos consistentes y con elevada dispersión de resultados.

Finalmente, en la última posición se encuentra YIELDCURVE, penalizada en todas las métricas. Su estrategia, centrada en capturar rendimiento de la curva de bonos mediante duración larga, se muestra poco eficiente en entornos tanto inflacionarios como recesivos, donde los repentes de tipos y la aversión al riesgo deterioran fuertemente el valor de los bonos de medio y largo plazo. Su peor clasificación global confirma que, en un periodo marcado por inflación alta y volatilidad macroeconómica, la duración prolongada es uno de los factores más castigados.

## **5. CONCLUSIONES**

El presente trabajo, ha permitido evaluar con el uso de las simulaciones de Monte Carlo como herramienta y la utilización de medidas de análisis de desempeño ampliamente respaldadas por la literatura financiera, el comportamiento de 8 carteras de inversión

diseñadas bajo distintos perfiles de riesgo y objetivos. Se han considerado además de una simulación con un horizonte de mayor largo plazo tres escenarios macroeconómicos contrastantes (expansión, recesión y tensión inflacionaria) con el objetivo de capturar la sensibilidad de cada cartera a distintos escenarios de mercado y extraer conclusiones sobre la robustez de su construcción. Los resultados han sido medidos a través de métricas como la rentabilidad esperada, la volatilidad, el ratio de Sharpe, el índice de Treynor, el alfa de Jensen y el Max Drawdown ofrecen una visión conjunta del desempeño y del riesgo inherente de cada propuesta.

El análisis confirma que la renta variable combinada con activos defensivos como el oro son elementos clave para obtener carteras resilientes y con potencial de crecimiento a partes iguales. Estrategias como ALLGUARD y DEFUSA, que poseen esta combinación han mostrado el mejor desempeño global, ocupando de forma sistemática las mejores posiciones en el ranking final. ALLGUARD, diseñada para aguantar todas las fases, ha demostrado su capacidad para ello ofreciendo rentabilidades sólidas en las fases más alcistas y aguantando mejor que las demás en las fases más bajistas. DEFUSA estando más expuesta a la renta variable ha logrado una rentabilidad sólida en todas las fases quedando en segunda posición por su volatilidad elevada aún así parece una carretera idónea para un perfil de inversor agresivo y que se quiera beneficiar en mayor medida de las fases expansivas del mercado.

Por otro lado, la estrategia superconservadora SURECAP ha validado su función principal de conservación de capital: si bien su rentabilidad es más limitada aunque ha mantenido más de un 2,5% de rentabilidad en todas las fases, es la única con un Sharpe positivo en todas las fases y ha sido capaz de mantener la volatilidad y el max drawdown en niveles muy bajos incluso en entornos recesivos o inflacionarios confirmando que los instrumentos que la conforman liquidez, bonos a corto plazo y oro son eficientes incluso en las peores fases del mercado. De manera similar, HEDGEUSA ha demostrado el impacto positivo de las coberturas activas, obteniendo mejoras significativas en ratios de eficiencia en comparación con estrategias equivalentes sin protección.

En contraste, carteras altamente dependientes de factores procíclicos o con alta concentración de riesgo, como RISKUSA, presentan una marcada vulnerabilidad: su elevado potencial de retorno en periodos expansivos es castigado con drawdowns extremos y la pérdida de eficiencia en entornos adversos.

Las fronteras eficientes obtenidas para cada escenario han permitido visualizar el cambio de relación riesgo-rentabilidad según el ciclo económico:

- En expansión, las carteras de renta variable ofrecen retornos muy atractivos frente a riesgos controlados.
- En recesión, la frontera se aplana, y prácticamente ningún incremento de riesgo se ve recompensado.
- En tensión inflacionaria, se observa un patrón intermedio: rentabilidades modestas, alta dispersión en volatilidades y clara ventaja de las estrategias balanceadas.

En síntesis, los resultados de este trabajo ponen de manifiesto que la evaluación de la solidez de una cartera de inversión no debe limitarse al análisis de su rentabilidad en condiciones estándar de mercado, sino que ha de incorporar su capacidad para mantener eficiencia, estabilidad y resiliencia frente a escenarios adversos. La evidencia obtenida a través de la simulación de Monte Carlo confirma que estrategias fundamentadas en asignación estratégica de activos refugio y mecanismos de cobertura dinámica ofrecen un desempeño superior frente a configuraciones con factores de riesgo concentrados, aunque estas puedan ser adecuadas para ciertas condiciones de mercado.

## **6. LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

El presente estudio si bien aporta una visión cuantitativa robusta del comportamiento de diferentes carteras de inversión, presenta ciertas limitaciones debidas a su diseño y alcance, que abren la puerta a futuras líneas de investigación:

-Una de las principales limitaciones es la complejidad de identificar un índice de referencia representativo para todos los activos considerados. La diversidad de activos considerados dificulta la construcción de un benchmark único que permita evaluar el desempeño relativo de manera homogénea. Aunque se ha creado un benchmark compuesto, solventando así este problema, podría ser interesante investigar la existencia de un posible benchmark de medida para todos los activos financieros de un determinado país.

-Otra restricción relevante está relacionada con la dificultad de cuantificar de manera exacta el impacto que cada escenario macroeconómico tendrá sobre los activos y, por ende, sobre las carteras. Si bien las simulaciones de Monte Carlo han permitido generar distribuciones probabilísticas robustas, la definición de cómo van a afectar las condiciones de mercado a los parámetros clave de la simulación implica cierto grado de suposición y calibración heurística. Esta aproximación, aunque válida y habitual en finanzas cuantitativas, limita la precisión predictiva y depende en gran medida de datos históricos, lo que podría no capturar adecuadamente fenómenos futuros no observados en el pasado. Futuras líneas de investigación podrían centrarse en el uso de modelos econométricos avanzados (GARCH, VAR estructurales, simulaciones de escenarios macroeconómicos estocásticos) con el objetivo de refinar la representación de shocks sistémicos y mejorar la robustez de las simulaciones.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Markowitz, H. M. (1952). *Portfolio Selection*. *Journal of Finance*, 7(1), 77–91
- Sharpe, W. F. (1964). *Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk*. *Journal of Finance*, 19(3), 425–442.
- Ross, S. A. (1976). *The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing*. *Journal of Economic Theory*, December 1976.
- Fama, E. F., & French, K. R. (1993). *Common Risk Factors in the Returns on Stocks and Bonds*. *Journal of Financial Economics*, 33(1), 3–56.
- Fama, E. F., & French, K. R. (2015). *A Five-Factor Asset Pricing Model*. *Journal of Financial Economics*.

## 8. ANEXOS

### -CÓDIGO DE PYTHON PARA LAS SIMULACIONES

```
import numpy as np

import pandas as pd

import matplotlib.pyplot as plt

import seaborn as sns

# ===== INPUTS =====

returns = np.array([0.0322, 0.0132, 0.0223, 0.0627, 0.0944, 0.0547, 0.0353, 0.05886]) #
Rentabilidad anual esperada

volatilities = np.array([0.0454, 0.0859, 0.0552, 0.0779, 0.1529, 0.0814, 0.0625,
0.0715]) # Volatilidad anual

betas = np.array([0.33, 0.27, 0.67, 1.23, 1.68, 1.17, 1.12, 1.1]) # Betas

rf = 0.0248

# Benchmark
```

```

benchmark_return = 0.0451

benchmark_volatility = 0.0613

# =====

# ESCENARIOS MACROECONÓMICOS CON IMPACTO POR CARTERA

# =====

modo_escenario = "recesion" # Cambiar a: 'expansion', 'recesion', 'inflacion', 'estabilidad'

returns_mod = returns.copy()

volatilities_mod = volatilities.copy()

for i in range(len(returns)):

    beta_i = betas[i]

    if modo_escenario == "expansion":

        returns_mod[i] *= 1 + 0.4 * beta_i

        volatilities_mod[i] *= 1 - 0.2 * beta_i

    elif modo_escenario == "recesion":

        returns_mod[i] *= 1 - 0.5 * beta_i

        volatilities_mod[i] *= 1 + 0.6 * beta_i

    elif modo_escenario == "inflacion":

        returns_mod[i] *= 1 - 0.3 * beta_i

        volatilities_mod[i] *= 1 + 0.7 * beta_i

```

```

elif modo_escenario == "estabilidad":

    pass # Se dejan los valores originales

else:

    raise ValueError("Modo de escenario no reconocido. Usa: 'expansion', 'recesion',
'inflacion' o 'estabilidad'")

# Ajuste del benchmark

if modo_escenario == "expansion":

    benchmark_return *= 1.2

    benchmark_volatility *= 0.9

elif modo_escenario == "recesion":

    benchmark_return *= 0.75

    benchmark_volatility *= 1.6

elif modo_escenario == "inflacion":

    benchmark_return *= 0.9

    benchmark_volatility *= 1.8

# Asignar los valores modificados

returns = returns_mod

volatilities = volatilities_mod

# ===== PARÁMETROS DE SIMULACIÓN =====

num_portfolios = len(returns)

num_years = 5

trading_days = 252

```

```

total_days = num_years * trading_days

num_simulations = 10000

# ===== SIMULACIÓN DE PRECIOS =====

price_paths = np.zeros((total_days + 1, num_simulations, num_portfolios))

benchmark_path = np.zeros((total_days + 1, num_simulations))

price_paths[0, :, :] = 100

benchmark_path[0, :] = 100

# Simulación de carteras

for i in range(num_portfolios):

    mu = returns[i]

    sigma = volatilities[i]

    daily_returns = np.random.normal(loc=mu / trading_days,

                                     scale=sigma / np.sqrt(trading_days),

                                     size=(total_days, num_simulations))

    price_paths[1:, :, i] = 100 * np.cumprod(1 + daily_returns, axis=0)

# Simulación del benchmark

benchmark_daily = np.random.normal(loc=benchmark_return / trading_days,

                                   scale=benchmark_volatility / np.sqrt(trading_days),

                                   size=(total_days, num_simulations))

benchmark_path[1:, :] = 100 * np.cumprod(1 + benchmark_daily, axis=0)

# ===== FUNCIONES DE MÉTRICAS =====

def sharpe_ratio(r, sigma, rf):

```

```

return (r - rf) / sigma

def treynor_ratio(r, beta, rf):
    return (r - rf) / beta

def jensen_alpha(r, beta, rm, rf):
    return r - (rf + beta * (rm - rf))

def max_drawdown(prices):
    peak = np.maximum.accumulate(prices, axis=0)
    drawdown = (prices - peak) / peak
    return drawdown.min(axis=0)

# ===== MÉTRICAS DE BENCHMARK =====
bm_final = benchmark_path[-1, :]
bm_return_sim = (bm_final / benchmark_path[0, :]) ** (1 / num_years) - 1

# ===== CÁLCULOS DE MÉTRICAS =====
results = []

for i in range(num_portfolios):
    prices = price_paths[:, :, i]

    # Rentabilidad total anualizada
    final_prices = prices[-1, :]
    simulated_returns = (final_prices / prices[0, :]) ** (1 / num_years) - 1

```

```

# Volatilidad anualizada

returns_daily = prices[1:, :] / prices[:-1, :] - 1

simulated_vols = np.std(returns_daily, axis=0) * np.sqrt(trading_days)

# Métricas

sr = sharpe_ratio(simulated_returns, simulated_vols, rf)

tr = treynor_ratio(simulated_returns, betas[i], rf)

alpha = jensen_alpha(simulated_returns, betas[i], bm_return_sim, rf)

dd = max_drawdown(prices)

df = pd.DataFrame({
    'Cartera': f'Cartera {i+1}',
    'Expected Return': simulated_returns,
    'Simulated Volatility': simulated_vols,
    'Sharpe Ratio': sr,
    'Treyner Ratio': tr,
    'Jensen Alpha': alpha,
    'Max Drawdown': dd
})

results.append(df)

# ===== RESULTADOS =====

final_df = pd.concat(results, ignore_index=True)

```

```

# ===== VISUALIZACIONES =====

sns.set(style="whitegrid", font_scale=1.1)

# 1. Frontera Eficiente

plt.figure(figsize=(10, 6))

scatter = plt.scatter(final_df["Simulated Volatility"], final_df["Expected Return"],
                      c=final_df["Sharpe Ratio"], cmap="viridis", alpha=0.5, label="Carteras")

plt.colorbar(scatter, label="Sharpe Ratio")

# Agregar Benchmark

bm_vol = np.std(benchmark_path[1:, :] / benchmark_path[:-1, :] - 1, axis=0) *
np.sqrt(trading_days)

bm_point = plt.scatter(bm_vol.mean(), bm_return_sim.mean(), color="red",
                      marker="X", s=100, label="Benchmark")

plt.legend()

plt.xlabel("Volatilidad Simulada (Anual)")
plt.ylabel("Rentabilidad Esperada (Anual)")

plt.title(f"Frontera Riesgo vs Rentabilidad (Escenario: {modo_escenario.capitalize()})")

plt.tight_layout()

plt.show()

# 2. Boxplots

metrics = ['Expected Return', 'Simulated Volatility', 'Sharpe Ratio',
          'Treyner Ratio', 'Jensen Alpha', 'Max Drawdown']

for metric in metrics:
    plt.figure(figsize=(10, 5))

```

```

sns.boxplot(data=final_df, x='Cartera', y=metric, palette="Set2")

plt.title(f'{metric} por Cartera (Escenario: {modo_escenario.capitalize()})')

plt.xticks(rotation=45)

plt.tight_layout()

plt.show()

```

### # 3. Mapa de Correlación

```

plt.figure(figsize=(10, 8))

sns.heatmap(final_df.drop(columns=['Cartera']).corr(), annot=True, cmap='coolwarm',
fmt=".2f")

plt.title(f'Correlación entre Métricas Simuladas (Escenario:
{modo_escenario.capitalize()})')

plt.tight_layout()

plt.show()

```

### # 4. Resumen Promedio

```

summary = final_df.groupby("Cartera").mean().sort_values("Sharpe Ratio",
ascending=False)

print(f"\nResumen Promedio por Cartera (ordenado por Sharpe Ratio) - Escenario:
{modo_escenario.upper()}\n")

print(summary.round(4))

```