

PAP - PROGRAMA DE MODELACIÓN MATEMÁTICA PARA EL DESARROLLO DE PLANES Y PROYECTOS DE NEGOCIO

“Estrategias de Rotación Sectorial”

Integrantes:

Alvarado Garnica Óscar Uriel - **734194**

Enriquez Nares Diego Emilio - **728356**

Martínez Ramírez José Alfonso - **734272**

Mugica Liparoli Juan Antonio - **728370**



*Prof. Sean Nicolás
González Vázquez*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	2
FLUJO DE TRABAJO	2
OBJETIVO DEL PROYECTO	2
DEFINICIÓN DEL PROYECTO.....	3
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL PROYECTO.....	3
ROTACIÓN SECTORIAL	3
NATURALEZA DE LOS ACTIVOS	4
INDICADORES ECONÓMICOS.....	5
FASES DE LA ECONOMÍA	6
ASSET ROTATION	7
METODOLOGÍA GENERAL.....	7
ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LOS DATOS.....	9
RESUMEN ESTADÍSTICO HISTÓRICO.....	9
COMPORTAMIENTO HISTÓRICO	10
DISTRIBUCIÓN HISTÓRICA	13
CUARTILES HISTÓRICOS	14
CORRELACIÓN HISTÓRICA	15
MODELO	17
DISEÑO Y CONCEPTUALIZACIÓN.....	17
ENTRENAMIENTO Y VALIDACIÓN.....	20
OPTIMIZACIÓN Y GENERALIZACIÓN DE PARÁMETROS E HIPER-PARÁMETROS	21
IDENTIFICACIÓN DE TENDENCIA ESPERADA	23
SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE INVERSIÓN	31
IMPLEMENTACIÓN.....	34
BACKTESTING DINÁMICO	34
FUNDAMENTACIÓN	34
MÉTRICAS DE DESEMPEÑO	34
COMPARACIÓN CON EL ‘BENCHMARK’	34
CONCLUSIONES.....	35
ANEXOS.....	35
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROYECTO	35
SOFTWARE	36
GLOSARIO.....	36
BIBLIOGRAFIA.....	40

ESTRATEGIAS DE ROTACIÓN SECTORIAL

INTRODUCCIÓN

En el dinámico y complejo entorno de los mercados financieros, los gestores de portafolios se enfrentan al desafío de anticipar los movimientos del mercado y ajustar sus estrategias de inversión de acuerdo con las fases del ciclo económico. Este proyecto se centra en desarrollar un modelo matemático basado en el concepto de la rotación sectorial, utilizando indicadores económicos clave, como: CLI, BCI, GDP y CCI, para guiar la toma de decisiones de inversión. La teoría fundamental es que los diferentes sectores económicos responden de manera distinta a las fluctuaciones económicas, lo que ofrece oportunidades para optimizar la asignación de activos en función de la fase del ciclo económico del momento.

Mediante la recopilación y el análisis de datos históricos, este proyecto busca identificar patrones y relaciones entre los indicadores económicos y el rendimiento del S&P 500 (benchmark), con el objetivo de construir un modelo matemático que no solo anticipe los movimientos del mercado financiero, sino que también ofrezca estrategias cuantitativas de cuándo sobreponderar (overweight), subponderar (underweight) o mantener una posición neutral en un sector económico específico. La implementación de estas técnicas y de un modelado matemático permitirá evaluar su efectividad, validarlas mediante backtesting dinámico y compararlas con un modelo benchmark.

FLUJO DE TRABAJO

OBJETIVO DEL PROYECTO

El propósito de este proyecto es desarrollar un modelo matemático que permita anticipar las fases del ciclo económico y, a partir de esta predicción, diseñar una estrategia de inversión cuantitativa que optimice la toma de decisiones en función de las condiciones económicas del momento. Se buscan aplicar técnicas de asset allocation para ajustar la exposición a diferentes

sectores económico. Además, se llevará a cabo una comparación exhaustiva del desempeño de esta estrategia frente a un benchmark, con el objetivo de validar su efectividad a través de análisis estadísticos y un enfoque basado en datos históricos.

DEFINICIÓN DEL PROYECTO

Se realizará un análisis descriptivo y una comparación gráfica de los indicadores económicos (mencionados anteriormente) contra un benchmark (S&P 500). Luego, se descargarán los datos históricos del benchmark y de sus respectivos activos financieros y se clasificarán según su naturaleza (beta): pro-cíclico (1) o anti-cíclico (0); después, se propondrán distintos modelos matemáticos con el objetivo de clasificar la postura (overweight, underweight o neutral) de la estrategia de rotación sectorial seleccionada. Posteriormente, se entrenará y validará el mejor modelo hallado, se optimizarán y generalizarán sus respectivos parámetros e hiper-parámetros y se evaluará una estrategia de inversión también propuesta. Finalmente, se implementará dicha estrategia con el modelo seleccionado, se realizará un backtesting dinámico (el cual validará la implementación de dicho modelo) con una selección aleatoria de activos financieros, se identificarán sus respectivas métricas de desempeño y, por último, se visualizará una comparación contra el benchmark.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL PROYECTO

ROTACIÓN SECTORIAL

La rotación sectorial es una estrategia de inversión que consiste en ajustar portafolios cambiando la asignación de activos financieros entre sectores económicos según la fase del ciclo económico del momento. Imagina que eres un gestor de portafolios y observas que hay cambios en la economía, ya sea por cambios en las tasas de interés, nuevas políticas monetarias de diferentes bancos centrales o también por ser un gestor de portafolios que revisa de forma recurrente los indicadores económicos para entender qué es lo próximo que puede ocurrir en el mercado financiero en base a distintas métricas económicas. En base a un análisis, prevés que en los

próximos meses es probable que la economía entre en recesión o que se experimente una expansión económica. Dependiendo de estas condiciones económicas, debes ajustar tu portafolio para maximizar los rendimientos, minimizar las pérdidas y ajustar el riesgo en base a la aversión al riesgo que tienen tus clientes.

Dicha estrategia implica seleccionar y ponderar sectores económicos específicos en el portafolio según la fase del ciclo económico en la que se encuentra la economía. Los mercados financieros tienen tendencias alcistas y bajistas dependiendo las expectativas económicas que tienen los participantes. En base a esto, es importante tener en cuenta que hay momentos donde conviene estar overweight en activos financieros agresivos (pro-cíclicos) y underweight en activos financieros defensivos (anti-cíclicos). Una métrica interesante para saber cuándo un activo financiero es pro-cíclico o anti-cíclico se conoce, como: 'beta' (β), el cual es un indicador que nos alerta cuánto se mueve un activo financiero con respecto al mercado financiero (benchmark), el significado de la beta varía dependiendo su valor:

- $\beta = 1$: El activo se mueve igual que el mercado financiero.
- $\beta < 1$: El activo tiene una relación inversa al mercado financiero. Por ejemplo, una beta de 0.40 indica que, si el mercado sube 1, nuestro activo sube menos (0.40), lo que implica menor riesgo sistemático.
- $\beta > 1$: El activo se mueve en la misma dirección que el mercado financiero, pero con mayor fuerza, lo que conlleva mayor riesgo sistemático.

Conociendo el ciclo económico, podemos seleccionar activos financieros con alguna beta específica. En periodos de recesión económica, es conveniente optar por activos defensivos con una beta inferior a uno. En tiempos de expansión económica, es preferible elegir activos con una beta igual o superior a uno. Es por eso por lo que un gestor de portafolios puede superar al mercado financiero alternando entre sobreponderar, subponderar y mantener una posición neutral en activos agresivos y defensivos, según el ciclo económico en el que se encuentre la economía.

NATURALEZA DE LOS ACTIVOS

- *Pro-cíclica*: Activo o estrategia financiera que tiende a beneficiarse durante periodos de expansión económica, como el sector industrial o tecnológico. Ponderación alta en activos pro-cíclicos. Este tipo de activos son elásticos, es decir, tienen un gran impacto respecto al cambio

de precios o condiciones económicas; presentan una beta (β) > 0.7 . Algunos ejemplos de sectores: Tech, Consumer Discretionary, Financial y Real State.

- *Anti-cíclica*: Activo o estrategia financiera que tiende a tener un buen desempeño durante periodos de recesión económica, como el sector de consumo básico. Ponderación alta en activos anti-cíclicos. Este tipo de activos son inelásticos, es decir, no se ven afectados por cambios o alteraciones generales del mercado; presentan un rango de beta $0 > \beta > 0.70$. Algunos ejemplos de sectores: Consumer Staples, Healthcare, Utilities y Safe-Haven Commodities.

INDICADORES ECONÓMICOS

- 1- *Business Confidence Index (BCI)*: Este indicador económico mide la confianza de las empresas en la economía, lo que refleja su disposición a invertir en nuevos proyectos, contratar empleados, y expandir operaciones. Si las empresas son optimistas sobre el futuro, comenzarán a realizar inversiones antes de que se materialice el crecimiento económico, lo que puede hacer que el BCI se adelante al ciclo económico. Un aumento en la confianza empresarial sugiere un incremento en la actividad económica futura, mientras que una disminución podría indicar una desaceleración.
- 2- *Consumer Confidence Index (CCI)*: Este indicador económico mide la confianza de los consumidores en la economía, lo que afecta directamente sus decisiones de gasto y ahorro. Si los consumidores están confiados en su situación financiera y en el estado de la economía, es probable que aumenten su consumo, impulsando la demanda agregada antes de que se refleje en el crecimiento económico. Por otro lado, si la confianza disminuye, los consumidores pueden recortar sus gastos, lo que podría anticipar una recesión económica.
- 3- *Composite Leading Indicator (CLI)*: Este indicador económico es un índice compuesto que incluye varios indicadores económicos adelantados, como el empleo, los pedidos de manufactura, y los permisos de construcción, entre otros. Estos componentes están seleccionados porque tienden a moverse antes que el ciclo económico general. Al agrupar múltiples indicadores adelantados, el CLI proporciona una señal temprana de cambios en la actividad económica, permitiendo prever fases de expansión o recesión en la economía.
- 4- *Gross Domestic Product (GDP)*: Este indicador económico mide el valor total de los bienes y servicios producidos en una economía durante un período específico. Sin embargo, a diferencia

de los otros indicadores, el GDP es un indicador rezagado, ya que refleja el resultado final de la actividad económica en lugar de preverla. Dicho esto, algunos componentes del GDP, como el gasto en inversión y el gasto de los consumidores, pueden contener información sobre tendencias futuras.

FASES DE LA ECONOMÍA

- 1- *Macro Bottoming*: En esta fase existe un incremento en las ganancias o utilidades de una empresa o del mercado en general también conocido como ‘earnings expansion’. También en el periodo de acumulación el mercado financiero está en una tendencia ascendente, donde los precios de las acciones están subiendo. Esto generalmente ocurre en respuesta a factores positivos como un crecimiento económico sólido, buenas noticias corporativas o políticas económicas favorables, a este término se le conoce como ‘rising equity markets’. En esta temporada las condiciones macroeconómicas son desfavorables, existe un sentimiento positivo en el mercado financiero y es momento de inversión en activos financieros con beta alta (pro-cíclicos).
- 2- *Macro Improving*: La economía está en su mejor momento, altas ganancias corporativas, los bancos centrales comienzan a subir las tasas de interés, valuaciones elevadas, las acciones alcanzan su techo, también existe un sentimiento eufórico en el mercado financiero donde todos de recomiendan comprar. Se recomienda comenzar la transición de activos financieros pro-cíclicos a anti-cíclicos.
- 3- *Macro Peaking*: La economía tiene un crecimiento económico insostenible y hay una contracción de la demanda. Existe una disminución de las ganancias empresariales, las tasas de interés se encuentran en máximos históricos, caen los mercados financieros, los inversionistas tienen un sentimiento pesimista del mercado financiero. Se recomienda tener el portafolio compuesto por activos financieros defensivos, es decir, un portafolio compuesto con activos de beta baja y empresas en sectores inelásticos.
- 4- *Macro Declining*: En esta fase económica comienza un período de recesión, caída de ganancias empresariales, se crean políticas económicas expansivas donde inician recortes en las tasas de interés, el mercado financiero alcanza su punto más bajo, las métricas fundamentales de las empresas comienzan a mejorar, el sentimiento en el mercado es mixto y se recomienda que el portafolio pase por una transición hacia activos más agresivos.

ASSET ROTATION

La rotación de activos, conocida como 'asset rotation', es una estrategia de inversión que busca maximizar los rendimientos mediante la diversificación sectorial económica. Esta estrategia se basa en la naturaleza pro-cíclica o anti-cíclica de los activos financieros, aprovechando las distintas fases del ciclo económico. En este proyecto, se propone una estrategia de rotación sectorial en la que se seleccionarán activos financieros de manera aleatoria y se ajustarán sus ponderaciones en el portafolio de inversión, de acuerdo con las características de cada activo y la postura adecuada.

Posturas:

- *Overweight*: Ponderación alta en activos pro-cíclicos.
- *Neutral*: Ponderación combinada y/o equilibrada en activos pro-cíclicos y anti-cíclicos.
- *Underweight*: Ponderación alta en activos anti-cíclicos.

Para identificar si un activo es pro-cíclico o anti-cíclico, se utilizará la beta como medida de referencia.

$$\beta = \frac{Cov(R_i, R_m)}{Var(R_m)}$$

Donde:

- R_i : rendimiento del activo.
- R_m : rendimiento del mercado.
- $Cov(R_i, R_m)$: covarianza entre los rendimientos del activo y los rendimientos del mercado.
- $Var(R_m)$: varianza de los rendimientos del mercado.

METODOLOGÍA GENERAL

Implementar un algoritmo para predecir el ciclo económico, teniendo como base los indicadores económicos previamente mencionados. Aunque tienen distintos enfoques, metodologías y componentes, son indicadores seleccionados con el objetivo de anticiparse al

mercado financiero con distintos factores económicos, como los datos de construcción de viviendas, expectativas empresariales, confianza en el consumidos, expectativas de producción, venta, empleo entre otros. Debido a esto, pueden llegar a ir adelantados al benchmark seleccionado. Los indicadores representaran X en el modelo matemático, mientras que se construirá Y, identificando con un valor de -1 , 0 , 1 a cada registro, en función de los rendimientos históricos del benchmark.

- *Overweight: 1.*
- *Neutral: 0.*
- *Underweight: -1.*

Posteriormente, se entrenará y testeará el modelo matemático inicialmente utilizando una regresión logística para establecer una línea de base que nos permita evaluar el rendimiento del modelo en la predicción del ciclo económico y en la clasificación de activos financieros pro-cíclicos o anti-cíclicos. Una vez obtenida este benchmark, se comparará con modelos más complejos como redes neuronales multicapa o XGBoost. Evaluando su desempeño con relación a la regresión logística y optimizando los parámetros e hiper-parámetros solo si ofrecen una mejora significativa en las predicciones. La elección final del modelo matemático se realizará en función de su capacidad para predecir con precisión las fases del ciclo económico, así como su desempeño en el backtesting dinámico que se desarrollará posteriormente. Una vez identificada la postura económica esperada se seleccionará una estrategia de inversión, la cual será implementada siguiendo el concepto de rotación sectorial, con el modelo matemático previamente entrenado y validado.

En este punto, se obtendrán los precios de los activos financieros que conforman el benchmark seleccionado, clasificándolos en pro-cíclicos y anti-cíclicos (según su beta). Se seleccionarán aquellos que mejor se ajusten a la fase del ciclo económico. Una vez seleccionados, la optimización se llevará a cabo utilizando modelos de asset allocation propuestos, algunos ejemplos pueden ser: el Ratio de Sharpe o el Ratio de Jensen. Estos ratios se utilizarán para encontrar la combinación de activos que ofrezca el mejor equilibrio entre riesgo y rendimiento. Posteriormente, se evaluarán distintas métricas de desempeño para compararlos con un benchmark.

ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LOS DATOS

Mediante un análisis exploratorio de datos (EDA), se identificarán patrones, anomalías y relaciones en los indicadores económicos seleccionados y en el benchmark.

RESUMEN ESTADÍSTICO HISTÓRICO

```
Summary statistics:
^GSPC CLOSE      CLI      BCI      GDP      CCI
count    289.000000  289.000000  289.000000  289.000000  289.000000
mean    1987.169547   99.779276   99.937007   99.900981   99.696149
std     1078.264977   1.271074   1.151665   1.206805   1.526347
min       735.090027  93.483700  95.797870  92.026080  96.201320
25%     1191.329956   99.188310   99.288160   99.556070   98.560120
50%     1454.599976   99.910780   99.956170   99.936840   99.904290
75%     2640.870117  100.657200  100.735500  100.521100  100.915900
max      4845.649902  101.954200  102.119800  101.872500  102.848900

Missing values:
^GSPC CLOSE      0
CLI              0
BCI              0
GDP              0
CCI              0
dtype: int64

Outliers
(array([106, 107, 108, 108, 109, 109, 110, 110, 111, 112, 242, 243, 243,
        244, 244, 245, 246]), array([2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 1, 3, 1, 3, 1, 3, 3, 3]))
```

Imagen 1. Comparativa del resumen estadístico, valores faltantes y outliers: indicadores económicos VS benchmark.

En primera instancia, se calculó un conjunto de estadísticas descriptivas (**imagen 1**), lo que permitió observar que los indicadores económicos mantienen una estabilidad relativa con medias cercanas a 100, lo cual está alineado con la normalización base 100 aplicada previamente. Por otro lado, el benchmark mostró una mayor volatilidad, con una desviación estándar considerablemente alta, indicando fluctuaciones significativas en el mercado durante el período analizado. Adicionalmente, se identificaron outliers en los indicadores económicos, específicamente en BCI, GDP y CCI, lo que sugiere la presencia de eventos atípicos o inusuales que podrían afectar la correlación entre estos indicadores y el comportamiento del mercado.

Además, la mediana de los indicadores es mayor que la media, lo que sugiere una asimetría positiva o una distribución sesgada a la izquierda. Esto implica que, aunque la mayoría de los valores tienden a ser altos, hubo algunos eventos negativos significativos (outliers) que redujeron las medias de los indicadores. Estos outliers negativos son cruciales para entender los períodos de recesión económica, que pueden haber afectado los niveles de confianza tanto empresarial como del consumidor.

Por otro lado, se identificaron outliers en algunos de los indicadores económicos, particularmente en el BCI, GDP y CCI. Estos outliers indican la presencia de eventos económicos inusuales que, en algunos casos, podrían estar relacionados con crisis económicas o períodos de recesión. Estos eventos pueden haber afectado significativamente la relación entre los indicadores económicos y el comportamiento del mercado financiero, alterando las expectativas de los inversores y generando una mayor volatilidad.

COMPORTAMIENTO HISTÓRICO

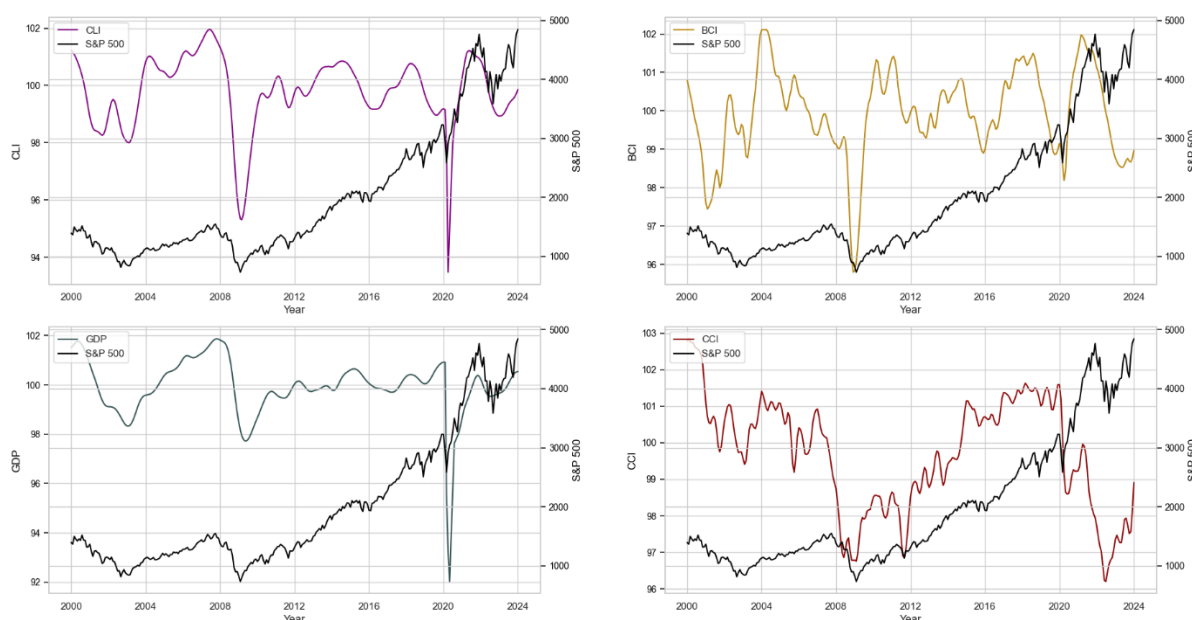


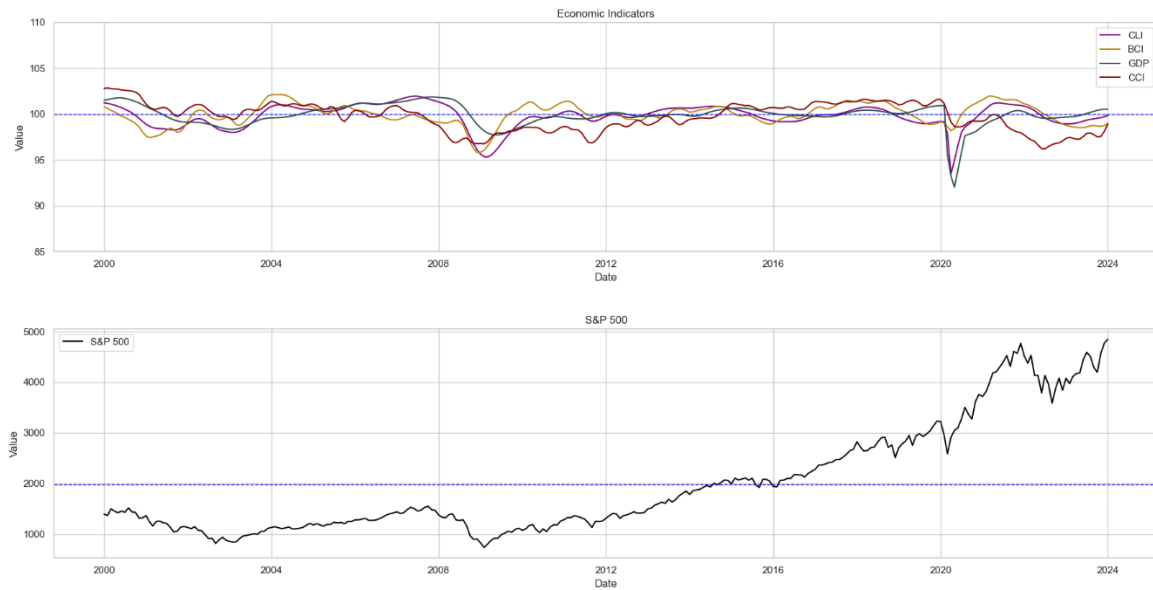
Imagen 2. Comparativa individual del comportamiento histórico: indicadores económicos VS benchmark.

El análisis gráfico (**imagen 2**) de la evolución del benchmark en comparación con los indicadores económicos seleccionados revela dinámicas interesantes que refuerzan la complejidad

de la relación entre el mercado financiero y el ciclo económico. En particular, se observa que el benchmark muestra un patrón de crecimiento sostenido, especialmente a partir de la década de 2010, mientras que los indicadores económicos como el CLI y el BCI presentan fluctuaciones más volátiles. Este comportamiento sugiere que, aunque los indicadores económicos capturan las condiciones macroeconómicas en diferentes fases del ciclo, el mercado financiero parece estar más influenciado por las expectativas de futuro y no solo por la situación económica actual. Esto puede explicar por qué el mercado financiero anticipa movimientos importantes antes de que los indicadores reflejen cambios significativos.

En el caso del GDP, un indicador de naturaleza más rezagada, se observa una correlación menos directa con las fluctuaciones del benchmark. Esta falta de sincronización puede atribuirse a que el GDP refleja la actividad económica pasada, mientras que el mercado financiero generalmente reacciona a expectativas de la población. Este desfase temporal es clave para entender cómo los inversores anticipan los movimientos del mercado, basándose en otros indicadores económicos más adelantados, como el CLI y el BCI, para tomar decisiones informadas.

Por otro lado, la relación entre el CCI y el benchmark, aunque es más consistente, presenta momentos de divergencia. Esto indica que la confianza del consumidor puede ser más volátil y estar sujeta a cambios abruptos en el entorno macroeconómico, como eventos políticos o globales, que afectan la percepción del mercado. La volatilidad observada en el CCI puede también reflejar una mayor sensibilidad de los consumidores a factores externos, lo que genera oscilaciones en sus expectativas de gasto y, por ende, influye indirectamente en el comportamiento del mercado financiero.



***Imagen 3.** Comparativa colectiva del comportamiento histórico: indicadores económicos VS benchmark.*

Estos gráficos (**imagen 2 e imagen 3**) ponen como tema la necesidad de un enfoque más sofisticado para captar las relaciones temporales y la causalidad entre los indicadores económicos y el rendimiento del mercado financiero. La presencia de estas divergencias sugiere que el modelo deberá considerar la posibilidad de diferentes ventanas temporales y técnicas de suavizado que permitan capturar mejor la dinámica entre los indicadores adelantados y el benchmark.

DISTRIBUCIÓN HISTÓRICA

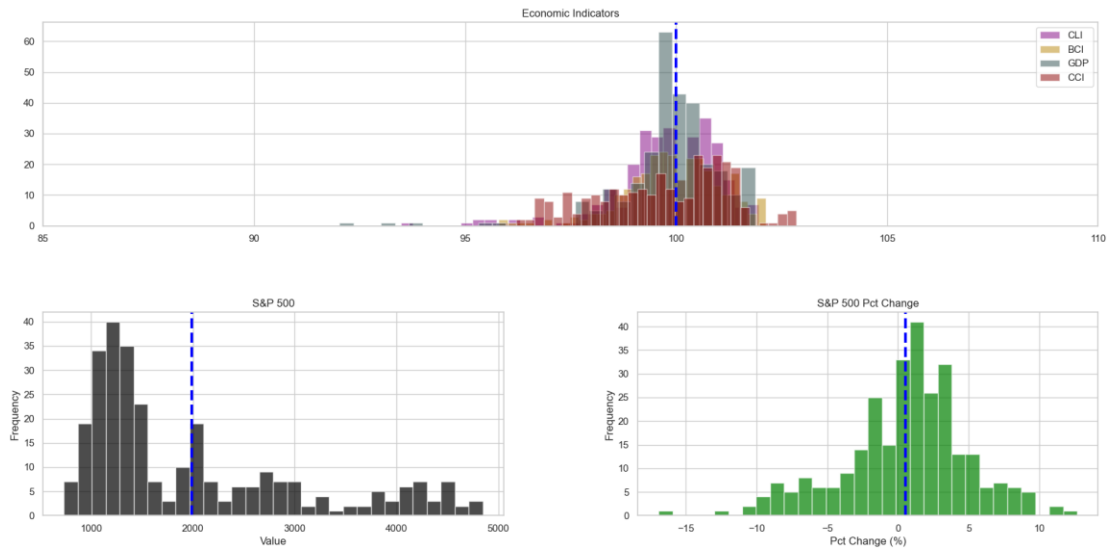


Imagen 4. Comparativa colectiva de las distribuciones históricas: indicadores económicos VS benchmark.

La distribución de los indicadores económicos (**imagen 4**) en comparación con el benchmark revela una notable diferencia en la variabilidad de los datos. Todos los indicadores económico se agrupan estrechamente alrededor del valor de 100, lo que indica una estabilidad con fluctuaciones limitadas a lo largo del tiempo. Esta concentración en torno a 100 sugiere que estos tienden a mantenerse relativamente constantes, sin grandes variaciones extremas, lo que contrasta fuertemente con la mayor volatilidad del benchmark.

Por otro lado, el benchmark muestra una dispersión más amplia, lo cual es evidente en su distribución más extendida hacia valores más bajos. Este comportamiento refleja su alta volatilidad, que es característica de los mercados financieros, donde las fluctuaciones son más pronunciadas. La gráfica que muestra los cambios porcentuales en el benchmark refuerza esta idea, evidenciando desviaciones significativas tanto positivas como negativas, lo que subraya la naturaleza impredecible y a menudo brusca del mercado financiero en comparación con los indicadores económicos que son más estables.

Esta divergencia entre la estabilidad de los indicadores económicos y la volatilidad del benchmark destaca cómo el mercado financiero reacciona no solo a las condiciones económicas actuales, sino

también a las expectativas futuras y a eventos imprevistos, lo que provoca fluctuaciones más pronunciadas. En conjunto, la comparación refuerza la idea de que los mercados financieros tienden a ser más reactivos, mientras que los indicadores económicos reflejan una imagen más estable y moderada de la economía.

CUARTILES HISTÓRICOS

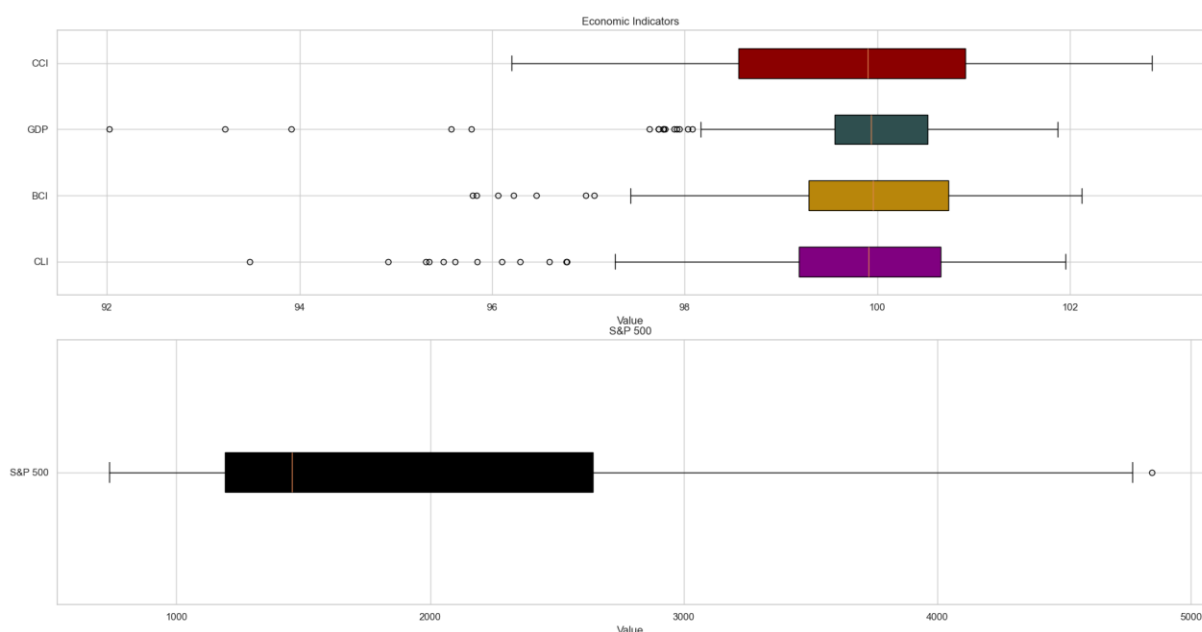


Imagen 5. Comparativa colectiva de los cuartiles históricos: indicadores económicos VS benchmark.

El análisis mediante los diagramas de caja (**imagen 5**) pone de relieve las diferencias en la dispersión y la presencia de outliers entre los indicadores económicos y el benchmark. En los indicadores económicos CCI, BCI y GDP, se observa una mayor concentración de los datos alrededor de sus medianas, lo que refleja una estabilidad relativa. Sin embargo, se identifican outliers, especialmente en el GDP y el BCI, lo cual sugiere episodios de variabilidad anómala que pueden estar asociados a eventos económicos puntuales que afectaron de manera significativa estos, lo cual se ha venido comentando a lo largo de esta exploración.

Por otro lado, el benchmark muestra una mayor extensión en su rango intercuartílico, lo que evidencia una mayor volatilidad en comparación con los indicadores económicos. El amplio rango en el benchmark indica que el mercado financiero experimenta fluctuaciones mucho más extremas.

Además, la presencia de un outlier significativo en el benchmark resalta la naturaleza impredecible del mercado financiero, subrayando que este puede estar influenciado por eventos extremos que afectan su comportamiento de manera considerable, contrastando con la estabilidad relativa de los indicadores económicos.

CORRELACIÓN HISTÓRICA

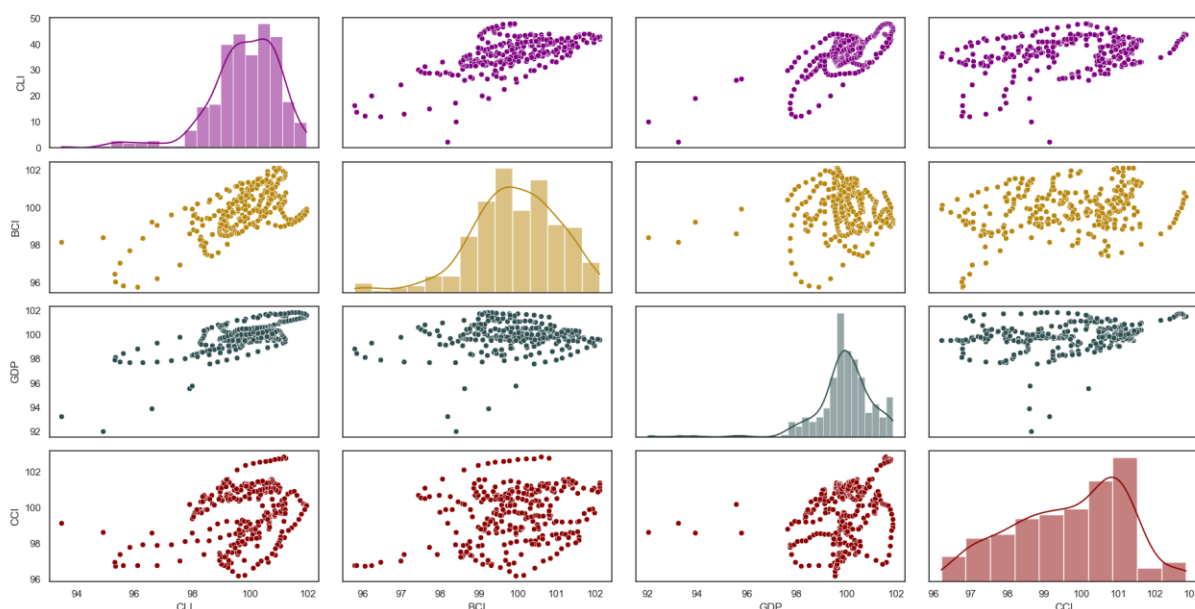


Imagen 6. Comparativa colectiva de la dispersión histórica: indicadores económicos VS benchmark.

En el gráfico de pares (**imagen 6**), se puede observar que los indicadores económicos muestran una correlación positiva en la mayoría de los casos, lo que sugiere que en determinados contextos económicos tienden a reaccionar de manera similar. Sin embargo, no se aprecia una relación lineal clara, ya que la dispersión de los puntos y la estructura de los datos indican que las relaciones entre estos son más complejas de lo que una correlación lineal simple podría describir. También se identifican outliers en algunas de las relaciones, lo que podría deberse a eventos económicos atípicos que alteraron las dinámicas entre los indicadores. Además, se puede notar la formación de clústeres en algunos gráficos, lo que podría indicar comportamientos diferenciados en ciertos períodos o bajo condiciones económicas específicas.

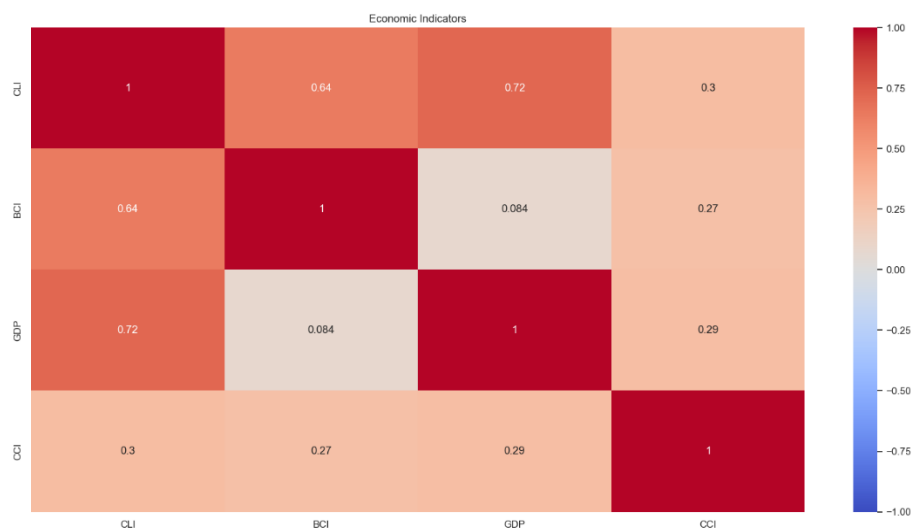


Imagen 7. Comparativa colectiva de la correlación histórica: indicadores económicos VS benchmark.

La matriz de correlación (**imagen 7**) entre los indicadores económicos revela una relación moderada a fuerte entre la mayoría de ellos. En particular, destaca la alta correlación entre el CLI y el GDP (72%), lo que sugiere que estos indicadores suelen moverse en la misma dirección, aunque con distinta magnitud. Este nivel de correlación indica que, si bien estos pueden estar relacionados, la magnitud y el momento en que afectan la actividad económica pueden variar. No obstante, aún no se puede concluir si estas correlaciones serán útiles para anticipar cambios en el ciclo económico, ya que esto dependerá del comportamiento del modelo predictivo en etapas posteriores del análisis.

Por otro lado, la relación más débil se observa entre el BCI y los otros indicadores, especialmente con el GDP (0.084), lo que indica que la confianza empresarial puede estar influenciada por factores independientes que no están necesariamente relacionados de manera directa con el crecimiento económico general. Esta falta de correlación sugiere que el BCI podría ser más volátil o responder a expectativas de corto plazo, en lugar de cambios estructurales en la economía.

En conjunto, estos patrones de correlación subrayan la importancia de considerar múltiples indicadores económicos para obtener una visión más completa y sus posibles impactos en el mercado financiero, ya que cada uno puede capturar diferentes aspectos del ciclo económico.

En resumen, el análisis exploratorio de datos ha revelado la complejidad inherente en la relación entre los indicadores económicos y el benchmark. Mientras que los indicadores económicos muestran una estabilidad relativa y una agrupación cercana a sus valores normalizados, el benchmark refleja una mayor volatilidad y una sensibilidad a eventos extremos. Las divergencias observadas en los gráficos y la identificación de outliers subrayan la importancia de capturar las dinámicas temporales entre los indicadores económicos adelantados y los rezagados, lo que será crucial para desarrollar un modelo matemático predictivo complejo. Adicionalmente, las correlaciones entre indicadores económicos como el CLI y el GDP refuerzan su valor como señales complementarias en la anticipación del ciclo económico, mientras que otros, como el BCI, pueden estar influenciados por factores de corto plazo. Estos hallazgos proporcionan una base sólida para ajustar los parámetros del modelo matemático y asegurar que capture tanto la estabilidad económica subyacente como la volatilidad y las fluctuaciones del mercado financiero.

MODELO

DISEÑO Y CONCEPTUALIZACIÓN

En esta fase del proyecto, se procede a la descarga de datos históricos del S&P 500 y de los activos financieros que lo componen. Se obtienen los precios de cierre ajustados de cada uno de los activos del benchmark, descargando datos mensuales en el rango de fechas especificado (desde enero del 2020 hasta junio del 2024). Posteriormente, se consolida el precio de cierre ajustado de cada activo en particular. Esta recopilación de datos no solo proporciona una base sólida para el análisis y modelado matemático posterior, sino que también permite comparar el rendimiento de los activos individuales con el benchmark, facilitando la evaluación de la estrategia de rotación sectorial.

Para este punto, los datos de nuestros indicadores económicos funcionarían como las X (input) del modelo. En el caso del output, es necesario la generación de nuestras Y, para contar con los datos completos y así entrenar un modelo matemático. Estas Y, serán generadas a partir del comportamiento del precio ajustado de cierre del S&P500. Se calcula el rendimiento diario de este benchmark utilizando el método de cambio porcentual y se define en función de este rendimiento.

Cabe recalcar que el 2% (umbral), es una variable por optimizar más adelante en el proceso de este modelo matemático:

- $r_{S\&P\ 500} > 2\%$: Overweight.
- $2\% > r_{S\&P\ 500} > -2\%$: Neutral.
- $r_{S\&P\ 500} < -2\%$: Underweight.

Una vez definido los rangos para el rendimiento del S&P500, se pueden generar los valores de las Y, los cuales serán:

- *Overweight*: 1.
- *Neutral*: 0.
- *Underweight*: -1.

Este enfoque permite categorizar el comportamiento del S&P 500 en tres estados distintos, facilitando así la predicción del ciclo económico. Es importante mencionar que se ajustan los datos para que la Y refleje el rendimiento en el periodo que ocurrió, utilizando 1 rezago (shift), desplazando los valores hacia arriba, asegurando que el modelo matemático pueda anticipar cambios futuros en el mercado financiero. En esta parte del proyecto, así como se puede optimizar el umbral para el rendimiento del S&P500, también se puede aplicar esta técnica de optimización para el número de rezagos por utilizar.

Una vez definidos los indicadores económicos adelantados al ciclo económico, así como la realización del análisis EDA de estos, la descarga de nuestros datos y la generación de nuestro output, completando así nuestra base de datos, se puede pasar a la propuesta de un modelo que ayude a determinar a un gestor de portafolios, cuando es conveniente estar overweight, underweight o neutral, en activos financieros pro-cíclicos o anti-cíclicos. Los modelos matemáticos propuestos son:

- *Regresión Logística*: Este modelo matemático será empleado como modelo benchmark a superar por los demás modelos matemáticos propuestos cuyo objetivo principal es analizar la relación entre los indicadores económicos adelantados y las decisiones de inversión en activos financieros pro-cíclicos o anti-cíclicos según la fase del ciclo económico. Este permite estimar la probabilidad de que un activo financiero se clasifique como Overweight, Underweight o Neutral en función de las variables predictivas. Su simplicidad y la interpretabilidad de los

coeficientes facilitan la identificación de los factores clave que influyen en el ciclo económico. Además, su capacidad para manejar variables categóricas y cuantitativas la convierte en una herramienta robusta para la toma de decisiones de inversión.

- *Red Neuronal*: Esta herramienta es particularmente útil para modelar matemáticamente relaciones complejas y no lineales entre los indicadores económicos y las decisiones de inversión. Su capacidad para identificar patrones en grandes volúmenes de datos la convierte en una opción ideal para predecir la dinámica del ciclo económico a partir de múltiples variables. En el contexto de la rotación sectorial, las redes neuronales son capaces de capturar interacciones que otros modelos matemáticos podrían pasar por alto, permitiendo una mayor precisión en las predicciones. Su flexibilidad en la arquitectura y la capacidad de ajustar hiperparámetros contribuyen a la optimización del rendimiento del modelo matemático, lo que puede mejorar la efectividad de la estrategia de inversión.
- *XGBoost*: Algoritmo de aprendizaje automático basado en árboles de decisión que ha demostrado ser altamente eficaz en tareas de predicción y clasificación. Su enfoque de ensamble permite combinar múltiples modelos matemáticos débiles para crear uno complejo, lo que lo convierte en una opción excelente para abordar la predicción del ciclo económico. XGBoost ofrece una serie de ventajas, como la capacidad de manejar datos faltantes y su eficiencia en términos de tiempo de entrenamiento y rendimiento. En el desarrollo de la estrategia de rotación sectorial, este modelo matemático permitirá optimizar la selección de activos financieros pro-cíclicos o anti-cíclicos mediante la integración de múltiples indicadores económicos, proporcionando así una base sólida para tomar decisiones informadas y mejorar el rendimiento ajustado al riesgo frente al benchmark.

En esta etapa del proyecto, los activos financieros se clasifican como pro-cíclicos o anti-cíclicos en función de su beta (β), que mide la sensibilidad de un activo frente a los movimientos del mercado financiero. Esta clasificación es fundamental para guiar las decisiones de inversión en la estrategia de rotación sectorial, permitiendo ajustar la exposición a los sectores económicos según las condiciones económicas previstas.

- $\beta > 0.7$: Pro-cíclico.
- $0 < \beta \leq 0.7$: Anti-cíclico.

Donde, un activo financiero pro-cíclico, tiende a amplificar los movimientos del mercado financiero, en cambio, un activo financiero anti-cíclico, se mueve en la misma dirección que el

mercado financiero, pero con menor intensidad. Con esta clasificación, más adelante, se podrá establecer una combinación óptima en función de la tendencia económica identificada.

ENTRENAMIENTO Y VALIDACIÓN

En este apartado se pondrá en marcha el algoritmo para predecir nuestro posible valor de la variable objetivo (Y) con respecto al comportamiento de nuestras variables predictorias (x), nuestras variables predictorias son los indicadores economicos definidos anteriormente (CLI, BCI, GDP, CCI) y el comportamiento pasado de los rendimientos del S&P500. Nuestra Y en base al modelo nos regresará una predicción donde puede almacenar alguno de los siguientes valores.

- 1 = Overweight (Sobreponderado)
- 0 = Neutral
- -1 = Underweight (Infraponderado)

Para entrenar el modelo, dividimos el conjunto de datos en dos partes: 80% para el conjunto de entrenamiento y 20% para el conjunto de prueba. Esta partición se realizó de forma estratificada para mantener la proporción de las clases en ambos subconjuntos, asegurando que el desequilibrio en la variable objetivo no afecte el rendimiento del modelo.

El entrenamiento se llevó a cabo utilizando distintos algoritmos de clasificación, nuestro modelo de “benchmark” es una regresión logística, que por más que sea un modelo clásico ajusta de forma adecuada y no ocupa mucho poder computacional para arrojar un resultado interesante. Los modelos seleccionados para obtener mejores resultados son:

1. XGBoost.
2. Redes neuronales multicapa.

Se procedió a entrenar estos modelos con los datos de entrada (X), y la salida Y, que es nuestra variable de clasificación con tres posibles valores.

Cada modelo fue ajustado con hiperparámetros predeterminados, y luego se realizó una optimización mediante búsquedas aleatorias y el uso de la biblioteca Optuna para encontrar los hiperparámetros más adecuados. Esta optimización mejoró la precisión de los modelos al ajustar los parámetros como por ejemplo:

- I. Número de estimadores.
- II. Tasa de aprendizaje.
- III. Profundidad de arbol. (En el caso de XGBoost)

Validación.

Para validar el rendimiento de los modelos, se utilizó el conjunto de prueba previamente reservado. En esta fase, se calcularon métricas clave:

- Accuracy (Precisión)
- Weighted precision (Precisión ponderada)
- Recall
- F1-Score

Para evaluar la capacidad del modelo de clasificar correctamente los valores de Y.

A su vez, para garantizar la robustez del modelo y que pueda generalizarse el modelo, es decir que pueda arrojar un buen rendimiento para futuros datos aunque sean nuevos para el modelo, se realizó la validación cruzada o mejor conocida como “cross-validation” con k-folds, donde el conjunto de datos se divide en 5 partes ($k=5$) y el modelo se entrena y valida en diferentes combinaciones de estos subconjuntos, mitigando así la variabilidad en los resultados y proporcionando una evaluación más generalizada del rendimiento del modelo.

OPTIMIZACIÓN Y GENERALIZACIÓN DE PARÁMETROS e HIPER-PARÁMETROS

En este apartado, se aborda el proceso de optimización de los parámetros e hiperparámetros utilizados en los distintos modelos de clasificación. La optimización es un paso crucial para mejorar el rendimiento predictivo del modelo, ya que los hiperparámetros determinan el comportamiento de los algoritmos de Machine Learning, tales como la complejidad del modelo, la regularización y la tasa de aprendizaje.

Optimización del Modelo XGBoost

En el caso del XGBoost, se utilizó tanto la búsqueda aleatoria de hiperparámetros como el algoritmo de optimización Optuna para maximizar la precisión del modelo. Los hiperparámetros ajustados incluyen:

1. `n_estimators`: Número de árboles en el modelo.
2. `learning_rate`: Tasa de aprendizaje que controla el ajuste de los pesos en cada iteración.
3. `max_depth`: Profundidad máxima de los árboles, que controla el ajuste del modelo.
4. `subsample`: Proporción de muestras que se utilizan en cada iteración.
5. `colsample_bytree`: Proporción de características seleccionadas para cada árbol.
6. `gamma`: Controla la regularización para reducir el sobreajuste.
7. `reg_alpha` y `reg_lambda`: Parámetros de regularización L1 y L2, respectivamente.
8. `min_child_weight`: Controla la complejidad del modelo al exigir un peso mínimo en los nodos hoja.
9. `max_delta_step`: Controla la estabilidad de la actualización de los pesos.

El estudio de optimización de Optuna se realizó con 100 pruebas (`n_trials=100`), ajustando dinámicamente los hiperparámetros para maximizar la métrica de precisión. Esto resultó en un modelo XGBoost altamente optimizado con una precisión superior, mejorando la capacidad de generalización del modelo sobre el conjunto de prueba.

Optimización de la Red Neuronal Multicapa (MLP)

Para la red neuronal multicapa (MLP), también se empleó Optuna para optimizar la estructura y los hiperparámetros. Los hiperparámetros optimizados incluyen:

1. `hidden_layer_sizes`: El número de unidades en cada capa oculta.
2. `alpha`: Parámetro de regularización que previene el sobreajuste.
3. `learning_rate_init`: Tasa de aprendizaje inicial del algoritmo.

El proceso de optimización permitió encontrar la mejor configuración de la red neuronal en términos de número de capas y unidades por capa. Se probó un rango de unidades para tres capas ocultas, maximizando la precisión del modelo en el conjunto de validación.

Generalización de los Modelos

Uno de los mayores retos en la construcción de modelos de Machine Learning es evitar el sobreajuste (overfitting). Para garantizar la capacidad de generalización del modelo, se aplicaron técnicas de validación cruzada y estratificación en los conjuntos de entrenamiento y prueba. De

esta manera, se asegura que el modelo no solo se ajuste a los datos de entrenamiento, sino que también sea capaz de predecir correctamente datos no vistos.

Además, se utilizó regularización en la mayoría de los modelos (L1 y L2 en la regresión logística, y regularización en XGBoost y MLP) para controlar la complejidad del modelo y prevenir el ajuste excesivo a los datos de entrenamiento. También se ajustaron las tasas de aprendizaje y otros hiperparámetros para equilibrar la precisión del modelo y su capacidad de generalización.

Resultados de diferentes modelos

En esta sección, vamos a detallar el desempeño de los distintos modelos utilizados en el proyecto, evaluados principalmente por sus curvas ROC y el AUC (Area Under the Curve) que muestran la capacidad de cada modelo para distinguir entre las tres clases de predicción: **Underweight**, **Neutral**, **Overweight**.

RESULTADOS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA (BENCHMARK):

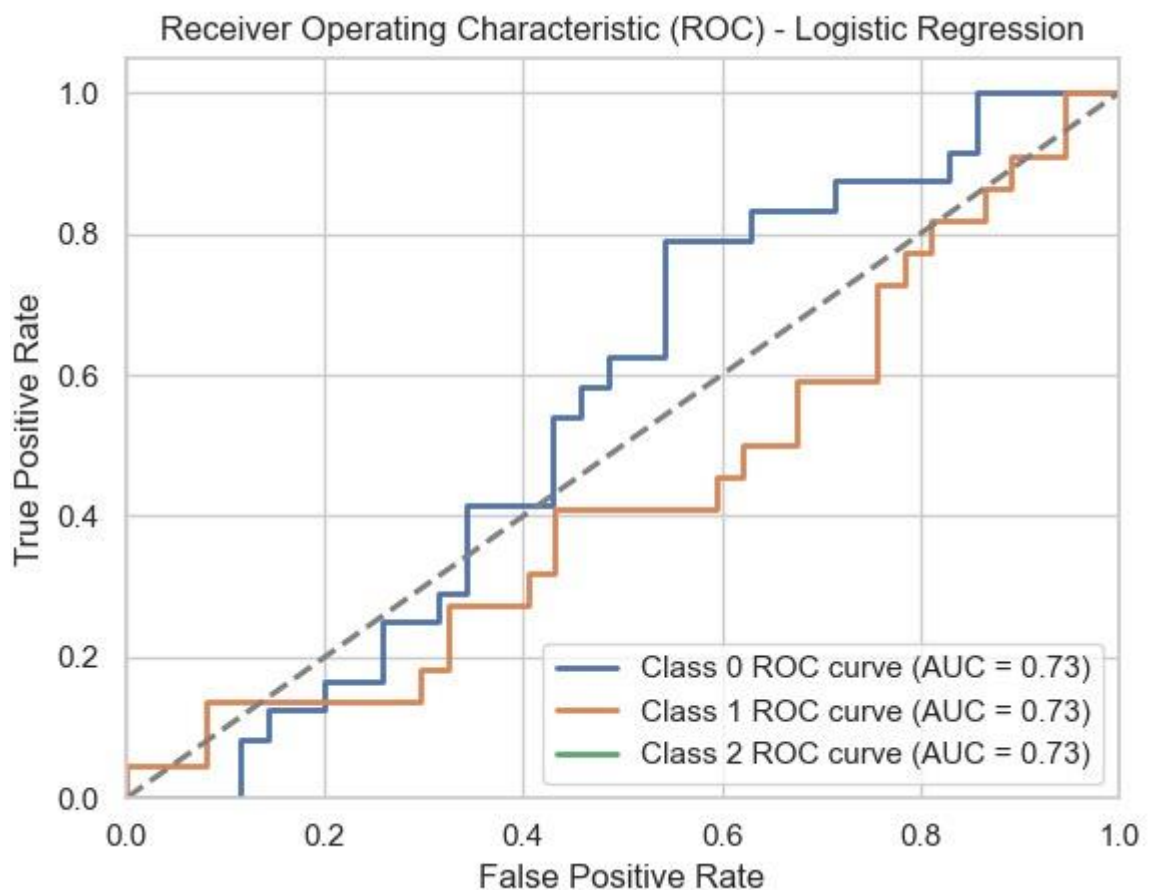


Imagen 8. ROC – Logistic Regression

Classification Report:

	precision	recall	f1-score	support
-1.0	0.50	0.15	0.24	13
0.0	0.53	0.83	0.65	24
1.0	0.76	0.59	0.67	22
accuracy			0.59	59
macro avg	0.60	0.53	0.52	59
weighted avg	0.61	0.59	0.56	59

Imagen 9. Imagen del reporte de clasificación – Logistic Regression

- **Curvas ROC:** Como se puede observar en la **Imagen 8**, la curva ROC muestra un **AUC de 0.73** para cada una de las clases (Clase 0: Underweight, Clase 1: Neutral, Clase 2: Overweight). Este AUC indica que el modelo tiene una **capacidad moderada** para clasificar correctamente entre las diferentes fases del ciclo económico, pero no logra diferenciar con alta precisión los eventos. Un AUC de 0.73 sugiere que el modelo supera el rendimiento de una clasificación aleatoria, aunque no es suficiente para tomar decisiones sólidas en la estrategia de rotación sectorial.
- **Reporte de clasificación:** En la **Imagen 9**, se puede ver el desempeño detallado del modelo con las métricas de **precisión, recall y F1-score**. A continuación, un resumen de las métricas clave:
 - **Clase -1.0 (Underweight):** F1-Score de **0.24**, lo que muestra que el modelo tiene un **rendimiento débil** al predecir las fases recesivas, con un **recall de apenas 0.15**, indicando que solo identifica correctamente una pequeña fracción de los casos de recesión.
 - **Clase 0.0 (Neutral):** F1-Score de **0.65**, con un **recall alto de 0.83**, lo que refleja que el modelo predice con **mayor precisión** las fases neutrales. Esta clase parece ser la que mejor maneja la regresión logística, pero con una precisión que aún puede mejorarse.
 - **Clase 1.0 (Overweight):** F1-Score de **0.67**, con un **recall de 0.59**. Aunque el modelo es más preciso en predecir fases expansivas en comparación con las recesivas, todavía está lejos de ofrecer un rendimiento óptimo.
- **Interpretación:** En general, el modelo de regresión logística presenta un **rendimiento limitado**. La precisión general es baja, con una **exactitud global del 59%** y un F1-Score promedio ponderado de **0.56**. Si bien el modelo logra identificar fases neutras con mayor precisión, su capacidad para diferenciar entre las fases recesivas y expansivas es

insuficiente. Esto sugiere que un modelo más avanzado, capaz de capturar interacciones más complejas entre los indicadores económicos, sería necesario para mejorar la clasificación.

RESULTADOS DEL MODELO XGBOOST:

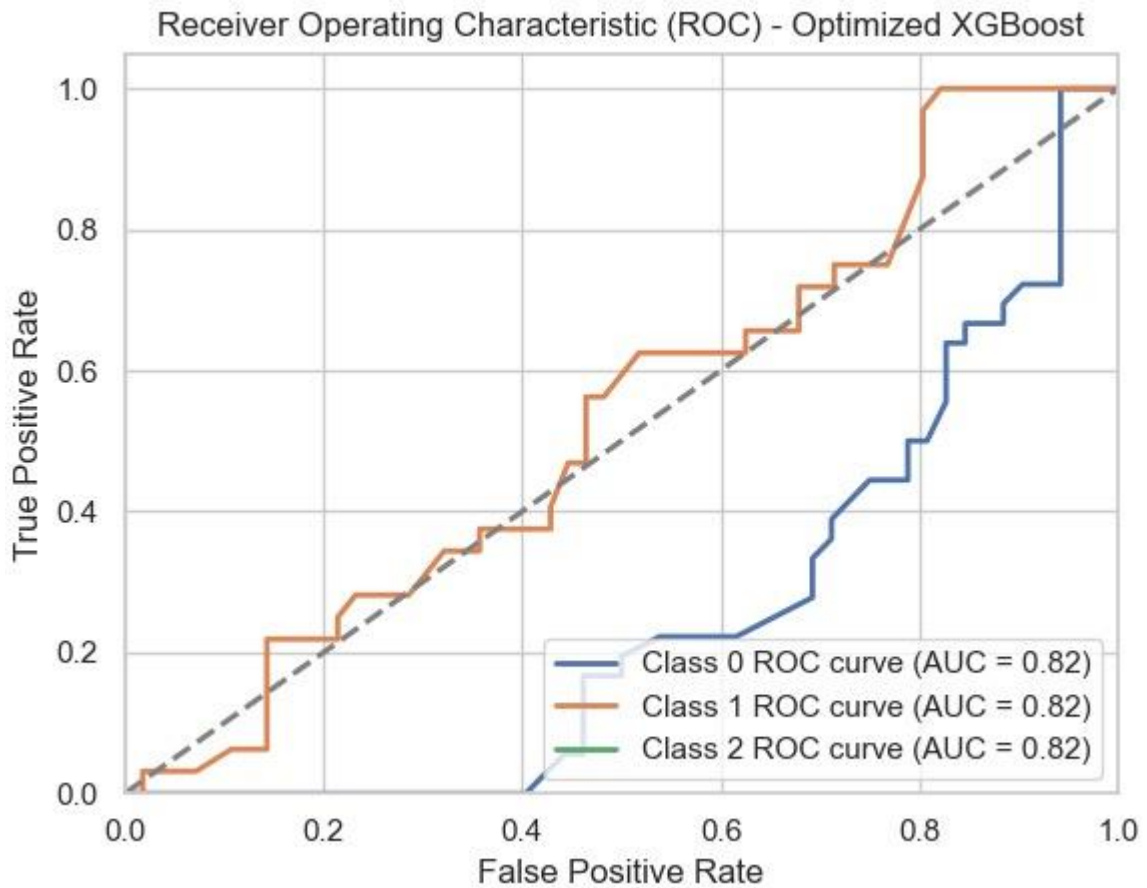


Imagen 10. Imagen del ROC – XGBoost

Accuracy: 0.7159

Classification Report:

	precision	recall	f1-score	support
-1.0	1.00	1.00	1.00	20
0.0	0.63	0.75	0.68	36
1.0	0.64	0.50	0.56	32
accuracy			0.72	88
macro avg	0.76	0.75	0.75	88
weighted avg	0.72	0.72	0.71	88

Imagen 11. Imagen del Reporte de Clasificación – XGBoost

- **Curvas ROC:** El modelo XGBoost optimizado muestra una mejora significativa, con un **AUC de 0.82** para cada clase. Esto refleja una mejora en la capacidad de predicción para las tres categorías, con un aumento notable en la detección de fases económicas.
- En la **Imagen 11**, el informe de clasificación proporciona un desglose detallado de las métricas de precisión, recall y F1-score para las tres clases modeladas. A continuación, un resumen de las métricas clave:
 - **Clase -1.0 (Fase recesiva): F1-Score** de 1.00, lo que indica que el modelo clasifica perfectamente las fases recesivas. **Recall** de 1.00, mostrando que el modelo identifica todos los casos de recesión correctamente. El modelo tiene un excelente desempeño al predecir esta clase, lo que es crucial para gestionar fases recesivas del ciclo económico.
 - **Clase 0.0 (Fase neutral): F1-Score** de 0.68, con un recall de 0.75. Esto refleja que el modelo es relativamente eficaz en predecir fases neutrales, aunque con cierto margen para mejorar su precisión. El desempeño del modelo en esta clase es bueno, pero no tan sólido como en la clase recesiva, lo que sugiere que podría haber una mejora en la clasificación de fases estables.
 - **Clase 1.0 (Fase expansiva): F1-Score** de 0.56, con un recall de 0.50. El modelo tiene dificultades para predecir con exactitud las fases expansivas, lo cual es un aspecto para mejorar para lograr mejores predicciones en tiempos de crecimiento

económico. Si bien el modelo tiene un desempeño razonable, no logra captar completamente las señales de expansión, lo que podría limitar su utilidad para identificar oportunidades de inversión.

- **Interpretación:** El AUC de 0.82 indica que XGBoost tiene un mejor desempeño en la clasificación, logrando una mayor precisión en comparación con la regresión logística. En general, presenta un buen rendimiento, con una precisión global del 71.59% y un F1-Score ponderado de 0.71. Aunque el modelo logra identificar con gran precisión las fases recesivas, su capacidad para diferenciar entre fases neutrales y expansivas aún tiene espacio para mejorar. Esto sugiere que, aunque el modelo es una herramienta robusta para decisiones económicas, una mayor optimización podría mejorar su utilidad en contextos de crecimiento económico.

RESULTADOS DE LA RED NEURONAL MULTICAPA (MLP) con ReLU

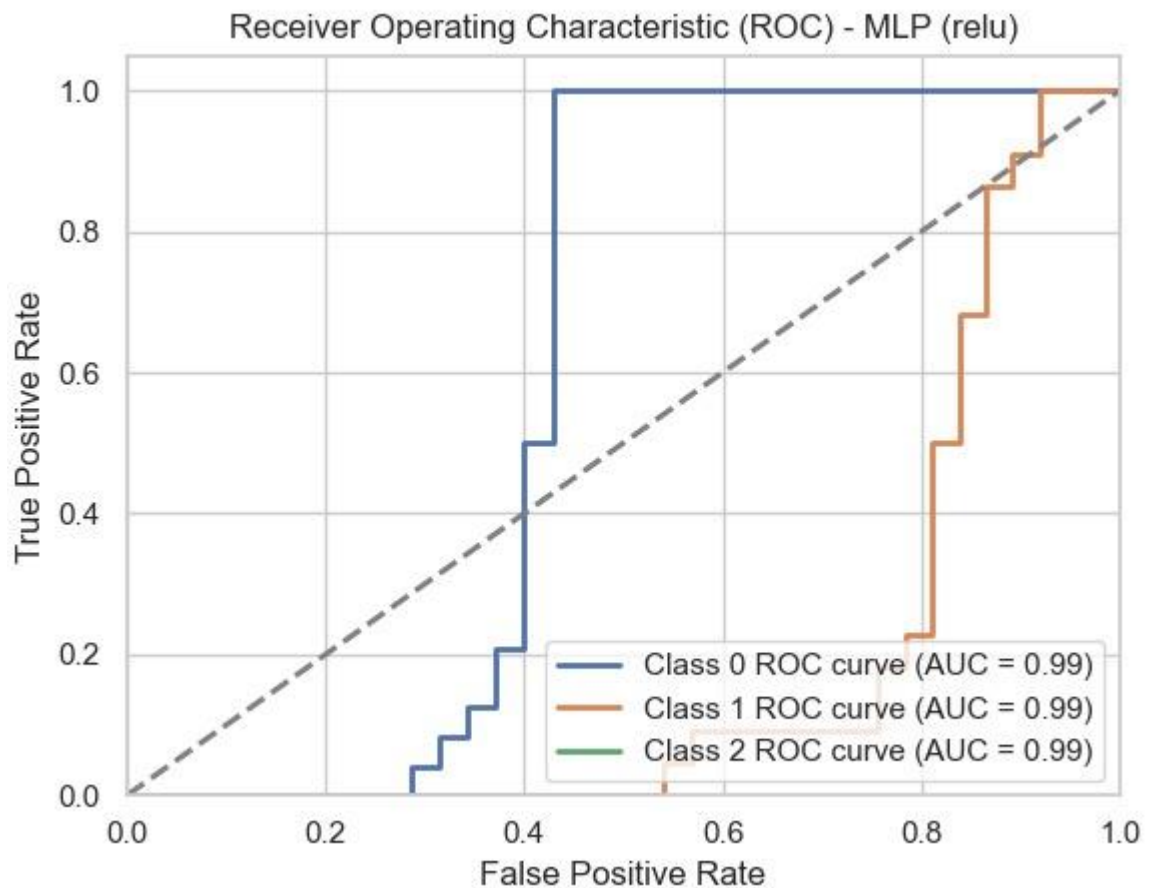


Imagen 12. ROC - MLP

```

MLP Neural Network (ReLU) Accuracy: 0.8813559322033898
      precision    recall  f1-score   support

-1.0         0.80      0.92      0.86         13
 0.0         0.87      0.83      0.85         24
 1.0         0.95      0.91      0.93         22

 accuracy          0.88         59
  macro avg       0.87      0.89      0.88         59
 weighted avg     0.89      0.88      0.88         59

```

Imagen 11. Imagen del Reporte de Clasificación – MLP

- **Curvas ROC:** La red neuronal multicapa (MLP) con activación ReLU muestra un **AUC de 0.99** para cada una de las clases (Clase 0: Underweight, Clase 1: Neutral, Clase 2: Overweight), lo que representa un **rendimiento casi perfecto**. Esto indica que el MLP es excepcionalmente preciso para clasificar las diferentes fases del ciclo económico, superando con creces a los modelos previos como la regresión logística y XGBoost. Un AUC cercano a 1.0 sugiere que el modelo tiene una capacidad excelente para diferenciar entre las clases, minimizando los falsos positivos y los falsos negativos.
- **Reporte de Clasificación:** En la **Imagen 13**, se pueden observar las métricas detalladas de precisión, recall y F1-score para cada clase. El modelo MLP ha alcanzado una precisión general del **88%** y un F1-Score ponderado de **0.88**, mostrando un excelente desempeño en la clasificación de todas las fases económicas:
 - **Clase -1.0 (Underweight):** F1-Score de **0.86**, con un **recall de 0.92**. El modelo predice de forma precisa las fases recesivas, logrando un equilibrio sólido entre precisión y recall.
 - **Clase 0.0 (Neutral):** F1-Score de **0.85**, con un **recall de 0.83**. El modelo identifica con alta precisión las fases neutras, lo que es fundamental para mantener una diversificación óptima en el portafolio.
 - **Clase 1.0 (Overweight):** F1-Score de **0.93**, con un **recall de 0.91**. El rendimiento en la identificación de fases expansivas es sobresaliente, siendo el mejor entre las tres clases, lo que sugiere que el modelo es extremadamente eficaz en la detección de fases de crecimiento económico.

- **Interpretación:** El MLP con activación ReLU no solo supera a los otros modelos en términos de AUC, sino que también mantiene un equilibrio robusto en las métricas de **precisión, recall y F1-Score**. La capacidad del MLP para capturar relaciones no lineales complejas entre los indicadores económicos permite realizar **predicciones altamente confiables**. Este es el modelo elegido para la **implementación final**, ya que proporciona la base más sólida para la toma de decisiones de inversión basadas en el ciclo económico.

CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS Y SELECCIÓN

Tras evaluar los tres modelos principales (Regresión Logística, XGBoost, y la Red Neuronal Multicapa con activación ReLU), se ha demostrado que cada uno tiene ventajas particulares en términos de precisión y capacidad de predicción. A continuación, se resumen las conclusiones clave de esta evaluación:

1. **Rendimiento del Modelo MLP con ReLU:** La Red Neuronal Multicapa (MLP) con activación ReLU destaca claramente entre los tres modelos evaluados, como se muestra en los resultados obtenidos. Este modelo logró una **precisión general del 88%**, un **F1-Score ponderado de 0.88** y un **rendimiento sobresaliente** en cada una de las tres clases:
 - **Underweight (-1.0):** F1-Score de **0.86**, lo que indica que el modelo predice con precisión las situaciones de recesión económica.
 - **Neutral (0.0):** F1-Score de **0.85**, mostrando un excelente equilibrio entre las predicciones de fases neutras, lo cual es crucial para la **diversificación óptima** del portafolio.
 - **Overweight (1.0):** F1-Score de **0.93**, lo que sugiere que el modelo es extremadamente preciso al predecir expansiones económicas, permitiendo decisiones estratégicas de sobreponderación en sectores pro-cíclicos.
2. **Consistencia y Robustez del MLP:** En comparación con los otros modelos, el MLP no solo tiene el **AUC más alto** (0.99 en todas las clases), sino que también mantiene un equilibrio robusto en las métricas clave de precisión, recall y F1-Score en todas las categorías. Esto implica que es el modelo que mejor generaliza y maneja las **complejidades de los datos económicos y de mercado**.

3. **Limitaciones de la Regresión Logística y XGBoost:** Aunque tanto la **Regresión Logística** como **XGBoost** mostraron un rendimiento aceptable, sus **AUC más bajos** (0.73 y 0.82 respectivamente) demuestran sus limitaciones para capturar patrones no lineales y complejos en los indicadores económicos. La **Regresión Logística** tuvo dificultades para diferenciar entre las tres clases, lo que la convierte en una opción menos eficiente. Aunque **XGBoost** mostró mejoras significativas, no alcanzó el nivel de precisión y estabilidad logrado por el MLP, especialmente en la **predicción de fases expansivas**.
4. **Selección del Modelo MLP con ReLU:** Dado que el MLP con activación ReLU ha demostrado su capacidad para capturar las **interacciones complejas** entre los indicadores económicos y el mercado, es la opción más sólida para guiar las decisiones de inversión. Este modelo fue seleccionado por su superioridad en **precisión** y su capacidad para predecir con mayor exactitud los movimientos del ciclo económico, lo cual es crucial para implementar una **estrategia de rotación sectorial exitosa**. El MLP permite **sobreponderar** sectores durante fases expansivas, **subponderar** en recesión, y **mantener una posición neutral** en momentos de incertidumbre.

Conclusión:

El MLP con ReLU no solo ofrece el **mejor rendimiento general**, sino que también es más adecuado para capturar las relaciones complejas entre los indicadores económicos y el rendimiento del mercado. Este modelo proporciona una **base sólida** para la toma de decisiones de inversión más informada, optimizando las asignaciones de activos en función de las **condiciones económicas cambiantes**.

IDENTIFICACIÓN DE TENDENCIA ESPERADA

El modelo multiclase desarrollado en este proyecto permite identificar la tendencia económica y ajustar la composición del portafolio con base en las predicciones del modelo. El objetivo es optimizar la ponderación de los activos en función de las fases del ciclo económico, dividiendo las acciones en dos categorías:

- **Pro-Cíclicas:** Empresas que tienden a tener un mejor desempeño en fases expansivas de la economía. Estos activos tienen una **beta mayor a 0.7**, lo que implica que tienden a amplificar los movimientos del mercado.

- **Anti-Cíclicas:** Empresas que se comportan mejor en periodos de recesión, con una **beta entre 0 y 0.7**, lo que indica que su rendimiento es menos sensible a las fluctuaciones del mercado.

La decisión del modelo influye directamente en la ponderación de estos tipos de activos, lo cual se puede observar en la composición del portafolio en función de tres estados:

1. **Underweighted Portfolio:** Cuando el modelo predice una recesión económica (valoración -1), el portafolio se pondera en un 75% hacia activos anti-cíclicos, priorizando la estabilidad y la menor exposición a riesgo. Solo el 25% del portafolio está asignado a activos pro-cíclicos.
2. **Neutral Portfolio:** En una fase neutral del ciclo económico (valoración 0), el portafolio se distribuye equitativamente, con un 50% en activos pro-cíclicos y 50% en anti-cíclicos. Esto refleja un equilibrio entre sectores que podrían beneficiarse de condiciones económicas moderadas o volátiles.
3. **Overweighted Portfolio:** Durante una fase expansiva del ciclo económico (valoración 1), el modelo indica que se debería ponderar un 75% de los activos en empresas pro-cíclicas, buscando aprovechar el crecimiento económico. Solo un 25% del portafolio se mantiene en sectores defensivos o anti-cíclicos.

Estas ponderaciones están alineadas con la teoría de rotación sectorial, que ajusta la exposición del portafolio a las condiciones del mercado para maximizar los rendimientos y minimizar el riesgo.

SELECCIÓN DE ESTRATEGIA DE INVERSIÓN

Una vez que el modelo identifica la tendencia esperada del mercado, es posible construir un portafolio otorgando mayor peso a los activos que se benefician más de la fase económica en la que se encuentre. Existen diversas estrategias de inversión que permiten optimizar un portafolio, como el Ratio de Sharpe, la Mínima Varianza o el Ratio de Sortino. Sin embargo, dado el enfoque de este proyecto, basado en la rotación sectorial a partir de indicadores adelantados del mercado, se considera que el Ratio Omega es la estrategia más adecuada. Esto se debe a que se cuenta con

un panorama claro del mercado y se está dispuesto a asumir un mayor riesgo para maximizar las ganancias ajustadas a dicho riesgo. A continuación, se define la estrategia:

Omega Ratio

Definición:

Un portafolio de Omega es una estrategia financiera que evalúa el equilibrio entre riesgo y recompensa de una inversión, considerando toda la distribución de rendimientos en lugar de sólo la volatilidad o los rendimientos negativos. Calcula la probabilidad de obtener rendimientos por encima de un umbral determinado (rendimiento objetivo) frente al riesgo de obtener rendimientos por debajo de este umbral. Un valor más alto indica un perfil de riesgo-recompensa más favorable, sugiriendo que es más probable obtener rendimientos superiores al umbral definido en comparación con el riesgo de no alcanzarlo. Esta estrategia fue propuesta por Keating y Shadwick en 2002 como una forma de mejorar la evaluación del riesgo y el rendimiento de los portafolios de inversión.

Fórmula:

$$\text{máx: } \frac{\int_r^{\infty} (1 - f(x)) dx}{\int_{-\infty}^r (f(x)) dx}$$

Donde:

- r : Umbral de referencia por debajo del cual se considera que se ha generado una pérdida, se mide en porcentaje (1%, etc.).
- $f(x)$: Función de distribución acumulativa de x , la cuál es la rentabilidad obtenida en cada transacción o periodo (distribución acumulativa de retornos por debajo de un umbral r).

Una función de distribución acumulativa determina la probabilidad de que una variable aleatoria arroje un resultado menor o igual a un valor dado, en este caso la rentabilidad de un activo o portafolio estudiado. En otras palabras, lo que se está haciendo es dividir la probabilidad de recibir ganancias entre la probabilidad de obtener pérdidas. Cuanto mayor sea el valor de Omega, significa

que el valor financiero ofrece mayores ganancias con respecto las pérdidas. Esto para el umbral (rendimiento) establecido por el inversor.

Aplicación:

Esta estrategia es adoptada por gestores de portafolios para aquellos inversores que están dispuestos a asumir más riesgo y tienen una visión positiva del mercado, con el objetivo de aumentar sus ganancias ajustadas por el riesgo. Este enfoque resulta atractivo para inversores en busca de oportunidades de inversión que, aunque puedan ser más volátiles, ofrecen una buena chance de alcanzar o superar un determinado nivel de ganancias, es por eso por lo que el gestor puede concentrarse en seleccionar activos que no solo tienen un gran potencial de beneficio, sino que también muestran una proporción favorable de rendimientos sobre las pérdidas, superando un umbral de rentabilidad deseado.

Ventajas:

- I. *Consideración de Asimetría de Rendimientos:* Toma en cuenta tanto los rendimientos positivos como los negativos, proporcionando una medida más completa del perfil de riesgo-rendimiento de un portafolio.
- II. *Sensibilidad a la Distribución de Rendimientos:* Dado que se basa en la probabilidad de rendimientos positivos y negativos, es sensible a cambios en la distribución de rendimientos de un portafolio, lo que permite una evaluación más precisa del riesgo y el rendimiento.
- III. *Facilidad de Interpretación:* Es una estrategia intuitiva y fácil de entender que proporciona una indicación clara de la eficiencia de un portafolio en términos de riesgo y rendimiento.

Desventajas:

- I. *Dependencia de la Distribución de Rendimientos:* Se puede ver afectada por la forma de la distribución de rendimientos de un portafolio, lo que puede conducir a resultados sesgados en ciertos escenarios.

- II. *Sensibilidad a Outliers*: La presencia de valores atípicos en la distribución de rendimientos puede distorsionar esta estrategia y afectar su utilidad como medida de eficiencia de portafolio.
- III. *Limitaciones en la Comparación de Características No Lineales*: Esta estrategia puede no ser adecuada para comparar portafolios con características no lineales o complejas, ya que se basa en una simplificación de la distribución de rendimientos.

Entrega 4:

IMPLEMENTACIÓN

L

BACKTESTING DINÁMICO

FUNDAMENTACIÓN

L

MÉTRICAS DE DESEMPEÑO

L

COMPARACIÓN CON EL ‘BENCHMARK’

L

Entrega 5:

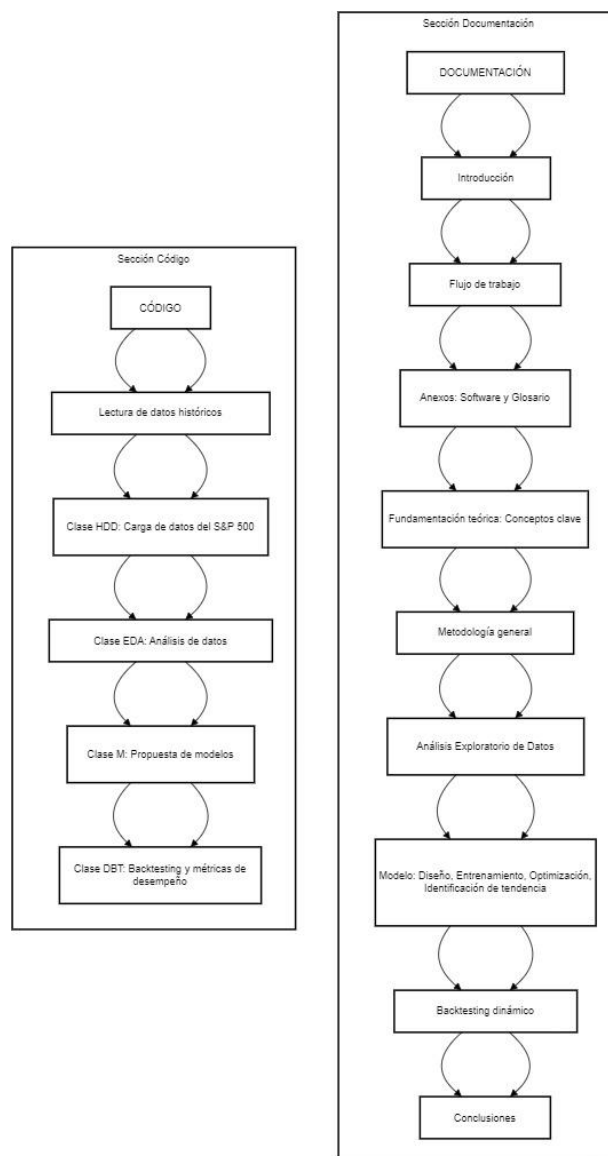
CONCLUSIONES

L

ANEXOS

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROYECTO

El siguiente diagrama de flujo (**imagen 8**), representa el proceso a seguir tanto en la parte de la documentación (teoría) como en la parte del código (aplicación) del proyecto.



SOFTWARE

1. *Python – Vscod*e (librerías: *pandas, matplotlib, numpy, tensorflow, keras, scipy, yfinance*): Lenguaje y entorno, respectivamente, de programación para desarrollar y ejecutar el código del proyecto. Las librerías enlistadas son las principales y cumplirán con el objetivo de manipular y analizar datos (*pandas*), visualizar gráficas (*matplotlib*), realizar cálculos numéricos (*numpy, scipy*), implementar modelos (*tensorflow, keras*), obtener datos financieros históricos (*yfinance*), entre otras más.
2. *GitHub*: Aplicación donde se almacenará y gestionará el código fuente del proyecto (repositorio), el cual servirá como evidencia del trabajo realizado, permitiendo un control de versiones y facilitando la colaboración entre los integrantes del equipo.

GLOSARIO

1. *Acción financiera*: Título que representa la propiedad parcial de una empresa y otorga el derecho sobre su beneficio.
2. *Accionista*: Persona o entidad que posee acciones de una empresa y tiene derechos sobre sus ganancias y decisiones corporativas.
3. *Actividad económica*: Conjunto de acciones relacionadas con la producción, distribución y consumo de bienes y servicios en una economía.
4. *Activo financiero*: Bien intangible que tiene valor económico, como acciones, bonos o derivados.
5. *Análisis estadístico y descriptivo (EDA)*: Proceso de analizar y visualizar datos para descubrir patrones, anomalías y relaciones, antes de aplicar modelos predictivos.
6. *Asignación de activos (asset allocation)*: Estrategia de distribución del capital en diferentes clases de activos (acciones, bonos, efectivo) para equilibrar riesgo y rendimiento.
7. *Aversión al riesgo*: Preferencia de los inversores por inversiones seguras, con menor volatilidad, frente a aquellas con mayor riesgo.
8. *Backtesting dinámico*: Proceso de probar una estrategia de inversión utilizando datos históricos, ajustando sus parámetros a lo largo del tiempo para simular condiciones reales.

9. *Banco central*: Institución que gestiona la política monetaria de un país, emite moneda, y regula el sistema bancario.
10. *Benchmark financiero*: Índice o referencia que se utiliza para comparar el rendimiento de una cartera de inversión.
11. *Beta financiera*: Medida de la volatilidad de un activo en relación con el mercado general. Beta mayor a 1 indica mayor volatilidad que el mercado.
12. *Ciclo económico*: Fluctuaciones en la actividad económica de un país, que incluyen fases de expansión, pico, recesión y recuperación.
13. *Clúster*: Agrupamiento de datos con características similares, utilizado en técnicas de análisis como el clustering.
14. *Consumidor*: Persona o entidad que compra y utiliza bienes y servicios.
15. *Correlación (matriz de correlación)*: Medida estadística que indica la relación entre dos o más variables, representada en una matriz para visualizar las interacciones entre múltiples variables.
16. *Covarianza*: Medida que indica el grado en que dos variables cambian juntas.
17. *Demanda agregada*: Total de bienes y servicios demandados en una economía a un nivel dado de precios y durante un periodo de tiempo específico.
18. *Desviación estándar*: Medida de dispersión que indica cuánto varían los datos respecto a la media.
19. *Distribución (normal, anormal, sesgada)*: Representación gráfica de cómo se distribuyen los datos. La distribución normal es simétrica, mientras que las distribuciones sesgadas muestran asimetrías hacia uno de los lados.
20. *Economía*: Ciencia que estudia la producción, distribución y consumo de bienes y servicios.
21. *Elasticidad financiera*: Sensibilidad de una variable financiera (como la demanda) en respuesta a cambios en otra variable, como el precio.
22. *Estrategia de inversión*: Plan estructurado que guía las decisiones sobre la compra, venta o mantenimiento de activos financieros para cumplir con objetivos financieros específicos.
23. *Expansión económica*: Fase del ciclo económico caracterizada por el crecimiento del PIB, aumento en el empleo y la inversión.
24. *Fluctuación económica*: Cambios en el nivel de actividad económica, reflejados en el crecimiento o decrecimiento del PIB, empleo, etc.

25. *Gestor de portafolios*: Profesional encargado de administrar y tomar decisiones sobre la composición y gestión de una cartera de inversiones para maximizar el rendimiento ajustado al riesgo.
26. *Indicador o métrica económica*: Medida estadística que evalúa el estado de la economía (PIB, tasa de desempleo, inflación).
27. *Inversión financiera*: Asignación de capital a activos con el objetivo de obtener un rendimiento en el futuro.
28. *Inversionista*: Persona o entidad que destina capital a activos financieros con la expectativa de obtener rendimientos.
29. *Librería*: Conjunto de funciones y herramientas predefinidas en un lenguaje de programación que facilita la realización de tareas específicas, como análisis de datos, visualización o cálculos matemáticos, sin necesidad de escribir código desde cero.
30. *Macroeconomía*: Rama de la economía que estudia el comportamiento global de una economía, incluyendo el PIB, la inflación y el desempleo.
31. *Media*: Promedio aritmético de un conjunto de datos.
32. *Mediana*: Valor central en un conjunto de datos ordenados.
33. *Mercado financiero*: Espacio donde se intercambian activos financieros como acciones, bonos, divisas, y derivados. Facilita la captación de capital y permite a los inversores comprar y vender activos.
34. *Microeconomía*: Rama de la economía que estudia las decisiones individuales de consumidores y empresas y su interacción en los mercados.
35. *Moda*: Valor que aparece con mayor frecuencia en un conjunto de datos.
36. *Modelo matemático (parámetros e hiper-parámetros; X-input, y-output)*: Representación matemática que usa variables de entrada (X) y salida (y) para predecir o modelar el comportamiento de un sistema, donde los parámetros controlan el modelo y los hiper-parámetros ajustan el rendimiento.
37. *Política económica*: Conjunto de medidas y acciones adoptadas por un gobierno para influir en la economía nacional.
38. *Política monetaria*: Estrategias implementadas por un banco central para controlar la oferta de dinero y las tasas de interés con el objetivo de influir en la inflación y el crecimiento económico.

39. *POO (programación orientada a objetos)*: Paradigma de programación que organiza el código en "objetos" que contienen datos y métodos, facilitando la reutilización y modularidad.
40. *Portafolio de inversión*: Conjunto de activos financieros mantenidos por un inversor con el fin de diversificar el riesgo y maximizar el rendimiento.
41. *Precio de cierre*: Último precio al que se negoció un activo en una jornada de mercado.
42. *Recesión económica*: Periodo de contracción en la actividad económica, caracterizado por una disminución en el PIB y un aumento en el desempleo.
43. *Rendimiento financiero*: Retorno generado por una inversión, expresado generalmente como porcentaje.
44. *Repositorio*: Espacio de almacenamiento en una plataforma de control de versiones (como GitHub) donde se guarda el código fuente de un proyecto, junto con su historial de cambios y versiones. Facilita la colaboración y el seguimiento de las modificaciones realizadas.
45. *Rezago (shift)*: Diferencia de tiempo entre el momento en que ocurre un evento económico y cuando se observa su impacto en los datos.
46. *Riesgo financiero (volatilidad financiera)*: Posibilidad de que una inversión pierda valor debido a fluctuaciones en los precios del mercado.
47. *Riesgo sistémico*: Riesgo que afecta a todo el mercado financiero o sistema económico, no se puede eliminar mediante diversificación.
48. *Sector económico*: División de la economía que agrupa a empresas que ofrecen productos o servicios similares (tecnología, salud, energía).
49. *Situación financiera*: Estado económico actual de una persona, empresa o gobierno, basado en sus activos, pasivos y capacidad para generar ingresos.
50. *Tasa de interés*: Costo del dinero prestado o el rendimiento de una inversión, generalmente expresado como porcentaje anual.
51. *Tendencia alcista*: Periodo prolongado en el que los precios de los activos financieros tienden a subir.
52. *Tendencia bajista*: Periodo prolongado en el que los precios de los activos financieros tienden a bajar.
53. *Valor atípico (outlier)*: Punto de datos que se encuentra muy alejado de los demás en un conjunto, lo que podría indicar una anomalía o error.
54. *Valor máximo*: El valor más grande en un conjunto de datos.
55. *Valor mínimo*: El valor más pequeño en un conjunto de datos.

56. *Valuación financiera*: Proceso de determinar el valor justo de un activo financiero, generalmente utilizando métodos como el flujo de caja descontado o comparables de mercado.
57. *Varianza*: Promedio de las diferencias al cuadrado respecto a la media, utilizado para medir la dispersión de los datos.

BIBLIOGRAFIA

- Beers, Brian. Investopedia. (07 de julio del 2024). “*What Is Sector Rotation? How It Works and Importance in Investing*”. Recuperado el 18 de agosto del 2024, de: <https://www.investopedia.com/articles/trading/05/020305.asp#:~:text=What%20Is%20Sector%20Rotation%3F%20Sector%20rotation%20is%20the,them%20thrive%20or%20languish%20depending%20on%20the%20cycle>
- DISFOLD. (25 de agosto del 2024). “*Rotación de Sectores en Trading: Técnicas, Tendencias e Indicadores*”. Recuperado el 31 de agosto del 2024, de: <https://es.disfold.com/rotacion-sectores-trading/>
- Financial Engineers. GitHub. (2024). “*PAP-ERS*”. Recuperado el 18 de agosto del 2024, de: <https://github.com/diegotita4/PAP-ERS>
- González, Sean. (2024). “*Rotación Sectorial*”. Presentación de PowerPoint. Recuperado el 07 de septiembre del 2024.
- IBM. (s. f.). “*¿Qué es el análisis exploratorio de datos (EDA)?*”. Recuperado el 14 de septiembre del 2024, de: <https://www.ibm.com/mx-es/topics/exploratory-data-analysis>
- IBM. (s. f.). “*¿Qué es la regresión logística?*”. Recuperado el 21 de septiembre del 2024, de: <https://www.ibm.com/es-es/topics/logistic-regression>
- IBM. (s. f.). “*¿Qué son las redes neuronales?*”. Recuperado el 21 de septiembre del 2024, de: <https://www.ibm.com/es-es/topics/neural-networks>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD. (2024). “*Composite leading indicator (CLI)*”. Recuperado el 18 de agosto del 2024, de: <https://www.oecd.org/en/data/indicators/composite-leading-indicator-cli.html>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD. (2024). “*Business confidence index (BCI)*”. Recuperado el 18 de agosto del 2024, de: <https://www.oecd.org/en/data/indicators/business-confidence-index-bci.html>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD. (2024). “*Real Gross Domestic Product (GDP)*”. Recuperado el 18 de agosto del 2024, de: <https://www.oecd.org/en/data/indicators/real-gross-domestic-product-gdp.html>

- Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD. (2024). “*Consumer confidence index (CCI)*”. Recuperado el 18 de agosto del 2024, de: <https://www.oecd.org/en/data/indicators/consumer-confidence-index-cci.html>
- PyPl. (01 de septiembre del 2024). “*Optuna 4.0.0*”. Recuperado el 21 de septiembre del 2024, de: <https://pypi.org/project/optuna/>
- PyPl. (11 de septiembre del 2024). “*Scikit-learn 1.5.2*”. Recuperado el 21 de septiembre del 2024, de: <https://pypi.org/project/scikit-learn/>
- PyPl. (16 de septiembre del 2024). “*Statsmodels 0.14.3*”. Recuperado el 14 de septiembre del 2024, de: <https://pypi.org/project/statsmodels/>
- PyPl. (20 de agosto del 2024). “*Scipy 1.14.1*”. Recuperado el 21 de septiembre del 2024, de: <https://pypi.org/project/scipy/>
- PyPl. (24 de agosto del 2024). “*Yfinance 0.2.43*”. Recuperado el 07 de septiembre del 2024, de: <https://pypi.org/project/yfinance/>
- Sanz, Francisco. (2024). “*Cómo funciona el algoritmo XGBoost en Python*”. Recuperado el 21 de septiembre del 2024, de: <https://www.themachinelearners.com/xgboost-python/>
- Yahoo! Finance. (2024). “*S&P 500 (^GSPC)*”. Recuperado el 18 de agosto del 2024, de: <https://finance.yahoo.com/quote/%5EGSPC/>