



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Optimización mediante aprendizaje automático de
estrategias de inversión en mercados financieros
basadas en medias móviles

Autor: Ana Serrano Riera

Director: Juan Luis Zamora Macho

Madrid

Enero 2022

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Optimización mediante aprendizaje automático de estrategias de inversión en mercados
financieros basadas en medias móviles

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2021/22 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Ana Serrano Riera

Fecha: 14/ 01/2022

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Juan Luis Zamora Macho

Fecha: 14/ 01/2022

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Ana Serrano Riera

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Optimización mediante aprendizaje automático de estrategias de inversión en mercados financieros basadas en medias móviles, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 14 de enero de 2022

ACEPTA



Fdo.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Optimización mediante aprendizaje automático de
estrategias de inversión en mercados financieros
basadas en medias móviles

Autor: Ana Serrano Riera

Director: Juan Luis Zamora Macho

Madrid

Enero 2022

OPTIMIZACIÓN MEDIANTE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO DE ESTRATEGIAS DE INVERSIÓN EN MERCADOS FINANCIEROS BASADAS EN MEDIAS MÓVILES

Autor: Serrano Riera, Ana.

Director: Zamora Macho, Juan Luis.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se ha realizado un análisis y optimización de estrategias clásicas de inversión basadas en medias móviles. Posteriormente se han propuesto nuevas estrategias de inversión basadas en redes neuronales para entender cuál sería la estrategia óptima. Como resultado al trabajo, se puede comprobar que las redes neuronales superan al método clásico de cruces de medias y en algunos casos, a la estrategia pasiva (buy & hold).

Palabras clave: Estrategia, inversión, medias, móviles, optimización

1. Introducción

La bolsa de valores es un mercado que hace función de intermediario entre compradores y vendedores de capital. El objetivo de cualquier inversor es comprar cuando el precio de la acción es bajo y vender cuando es alto. Para ello, hay dos análisis que se usan principalmente: el análisis fundamental y el análisis técnico. Este proyecto se centra en el análisis técnico, y especialmente en la estrategia de inversión basada en medias móviles (Dinesh et al., 2021).

El análisis técnico es un tipo de análisis que no requiere conocimientos en economía o finanzas, ya que no utiliza los datos que las empresas proporcionan para elaborar modelos financieros. El objetivo principal de este análisis es predecir cómo se va a mover la cotización de una acción a lo largo del tiempo mediante modelos matemáticos (García, 1991).

2. Definición del proyecto

En este proyecto, se va a estudiar a fondo la estrategia de inversión de medias móviles. Para ello, hace falta un análisis preliminar de lo que ya se ha estudiado en este campo

para conocer y entender el punto de partida. A continuación, se van a optimizar estas estrategias de inversión basadas en medias móviles con diferentes casos para analizar. Por último, se va a hacer uso de la técnica de aprendizaje automático y en concreto de redes neuronales para estudiar estrategias de inversión diferentes a las obtenidas mediante la estrategia clásica basada en medias móviles. Estas redes neuronales toman como entrada las medias móviles y la salida resultante es la rentabilidad predicha a 5 o 10 días.

3. Descripción del proyecto

Este Proyecto se puede dividir en dos partes diferenciadas, (i) optimización de la estrategia clásica de inversión basada en medias móviles y (ii) propuesta de nuevas estrategias de inversión mediante el uso de redes neuronales.

Los datos que se han usado a lo largo del proyecto para realizar los diferentes análisis han sido obtenidos de Yahoo Finance, y corresponden a los precios de cierre de valores americanos de los últimos 9 años (2012-2021)

Optimización de las estrategias clásicas de inversión basadas en medias móviles

En esta parte del proyecto se ha realizado un análisis a fondo de las diferentes variables y parámetros optimizados que influyen en la rentabilidad de la acción para comprender la relación que hay entre ellas. Para ello, lo primero que se ha hecho ha sido obtener dichos parámetros optimizados. Estos se han calculado optimizando/maximizando la rentabilidad activa, descontando las comisiones mediante un bucle en Matlab. Dicho bucle guarda la información de los parámetros correspondientes a la rentabilidad óptima. Esta optimización se ha hecho en 4 casos diferenciados.

1. Optimización de forma global: los parámetros se han optimizado de forma conjunta, es decir, se ha maximizado la rentabilidad media anual de todos los valores a la vez, obteniendo parámetros óptimos comunes para todos los valores,
2. Optimización de forma individual: en este caso se han optimizado de forma individual cada valor, es decir, maximizando la rentabilidad media anual de cada valor por separado.

3. Persistencia del óptimo en el tiempo, de forma global: en este caso, se ha seguido el mismo procedimiento que el comentado en el punto 1, pero se han optimizado para los primeros 5 años, y se han obtenido los parámetros óptimos comunes. A continuación, se han aplicado dichos parámetros óptimos para los próximos 4 años para entender si dicho óptimo se mantiene en el tiempo.
4. Persistencia del óptimo en el tiempo, de forma individual: en este caso, se ha seguido el mismo procedimiento que el comentado en el punto 2, pero se han optimizado para los primeros 5 años, y se han obtenido los parámetros óptimos individuales para cada acción. A continuación, se han aplicado dichos parámetros óptimos para los próximos 4 años para entender si dicho óptimo se mantiene en el tiempo.

Estas cuatro optimizaciones dan lugar a diferentes matrices que son las que se han analizado. Los principales análisis que se han hecho se explican brevemente a continuación:

- Análisis en función de si hay reinversión o no
- Análisis en función de la tendencia
- Análisis entre variables continuas y continuas
 - Rentabilidad activa anual
 - Rentabilidad pasiva anual
 - Número de operaciones
- Análisis entre variables continuas y discretas. Las variables discretas son las siguientes:
 - Mercado: Nasdaq (representado por el índice NMS) y NYSE (representado por el índice NYQ).
 - Sector: puede tomar 10 valores: salud, tecnología, industrial, servicios financieros, consumo cíclico, real estate, servicios de comunicación, energía, materiales, consumo anticíclico.
 - Industria: puede tomar 10 valores: biotecnología, software-aplicaciones, bancos-regionales, software-infraestructura, diagnóstico-investigación, farmacéuticas, semiconductores, dispositivos médicos, maquinaria industrial y gestión de activos.
 - Tipo de señal:

- Señal 1: cociente entre el precio de cierre y el precio medio de la ventana larga (p_c/p_{mvl}).
- Señal 2: cociente entre el precio medio de la ventana corta y el precio medio de la ventana larga (p_{mvc}/p_{mvl}).
- Señal 3: cociente entre el precio medio de la ventana intermedia y el precio medio de la ventana larga (p_{mvi}/p_{mvl}).
- Señal 4: cociente entre el precio de cierre y el precio medio de la ventana corta (p_c/p_{mvc}).
- Señal 5: cociente entre el precio de cierre y el precio medio de la ventana intermedia (p_c/p_{mvi}).
- Señal 6: cociente entre el precio medio de la ventana corta y el precio medio de la ventana intermedia (p_{mvc}/p_{mvi}).

Propuesta de nuevas estrategias de inversión basadas en redes neuronales

En este caso se ha hecho uso de dos redes neuronales diferentes, mostradas a continuación:

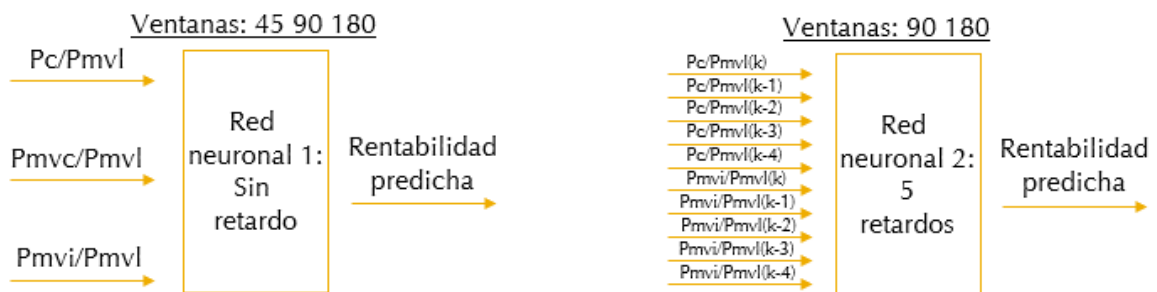


Figura 1: Tipos de redes neuronales usadas

Ambas redes funcionan de forma muy similar, lo que cambia son las variables de entrada. En un caso se incluyen 3 señales sin ningún retardo y en el segundo caso se incluyen 10 señales en total, que corresponden a 5 señales con 5 retardos. La elección de estos parámetros se ha hecho en base a los parámetros optimizados de forma global durante los 10 años. Una vez obtenida la rentabilidad predicha (a 5 o 10 días) se calculan los umbrales de compra y de venta que maximicen la rentabilidad activa. Un umbral será el de compra, y el otro será el de venta. Cuando la rentabilidad predicha sea superior al

umbral de compra, será un momento para comprar, mientras que, si la rentabilidad predicha es inferior al umbral de venta, será momento de vender.

4. Resultados

Los resultados obtenidos según los diferentes análisis se pueden resumir en la siguiente tabla:

	Rent. Anual pasiva	Método tradicional de medias	Redes neuronales
Optimización global	18.99%	9.25%	14.18%
Optimización individual	18.99%	34.71%	47.46%

Tabla 1: Resumen de los resultados

También se han analizado por separado los resultados con un desglose mayor, que se muestra a continuación:

Comparación de estrategias de inversión optimizadas de forma global

	Rent. Anual pasiva	Método tradicional de medias	Redes neuronales
Tendencia bajista	-7.82%	-2.78%	-0.81%
Tendencia lateral	9.75%	4.34%	13.98%
Tendencia alcista	72.51%	31.92%	31.74%

Tabla 2: Resumen de los resultados de forma global en función de la tendencia

En la Tabla 2 se puede comprobar que las redes neuronales mejoran la rentabilidad en el caso de la tendencia bajista y lateral (aunque en el caso de tendencia bajista, la rentabilidad sigue siendo negativa).

	Rent. Anual pasiva	Método tradicional de medias	Redes neuronales
Salud	5.96%	2.39%	7.05%
Tecnología	31.16%	12.44%	20.80%
Industrial	16.50%	7.45%	13.42%
Serv. Financieros	11.84%	6.41%	19.30%
Consumo cíclico	19.42%	8.15%	15.74%
Inmobiliario	2.56%	0.47%	2.15%
Serv. Comunicación	5.10%	3.85%	10.41%
Energía	-6.14%	-1.96%	0.14%
Materiales básicos	4.39%	5.18%	6.60%
Consumo anticíclico	12.91%	4.04%	4.84%

Tabla 3: Resumen de los resultados de forma global en función del sector

En la Tabla 3 se puede comprobar el uso de redes neuronales es recomendable para los siguientes sectores: Salud, servicios financieros, servicios de comunicación, energía y materiales básicos.

Comparación de estrategias de inversión optimizadas de forma individual

	Rent. Anual pasiva	Método tradicional de medias	Redes neuronales
Tendencia bajista	-7.82%	15.16%	27.89%
Tendencia lateral	9.75%	20.47%	32.20%
Tendencia alcista	72.51%	76.01%	87.91%

Tabla 4: Resumen de los resultados de forma individual en función de la tendencia

En la Tabla 4 se puede comprobar que el uso de redes neuronales mejora la rentabilidad en todos los casos.

	Rent. Anual pasiva	Método tradicional de medias	Redes neuronales
Salud	5.96%	27.98%	45.14%
Tecnología	31.16%	43.03%	52.60%
Industrial	16.50%	26.39%	38.04%
Serv. Financieros	11.84%	20.13%	31.80%
Consumo cíclico	19.42%	34.03%	46.94%
Inmobiliario	2.56%	11.64%	16.76%
Serv. Comunicación	5.10%	30.33%	33.60%
Energía	-6.14%	13.36%	27.25%
Materiales básicos	4.39%	23.38%	25.48%
Consumo anticíclico	12.91%	15.27%	19.00%

Tabla 5: Resumen de los resultados de forma individual en función del sector

En la tabla 5 se puede comprobar que el uso de redes neuronales es recomendable, ya que mejora la rentabilidad pasiva y la obtenida mediante el método tradicional en todos los sectores.

5. Conclusiones

Como conclusiones a este trabajo, se pueden destacar las siguientes:

- Con la optimización individual se consiguen rentabilidades superiores a las obtenidas con la optimización global (tal y como era de esperar).
- En el caso de optimización global, algunos resultados perduran en el tiempo, mientras que, en el caso de optimización individual, no perduran.
- Las redes neuronales consiguen superar al método clásico basado en cruces de medias móviles y al método pasivo en el caso de optimización individual. En el caso de optimización global, el uso de redes neuronales, supera al método pasivo en algunos casos.

Como trabajos futuros para continuar con lo analizado en este proyecto, se podría realizar análisis posteriores, incluyendo:

- Analizar la persistencia en el tiempo mediante el uso de redes neuronales, que es la estrategia óptima.
- Analizar más redes neuronales con diferentes entradas/parámetros.
- Combinar las redes neuronales con otros indicadores.

6. Referencias

Dinesh, S., Rao, N, Anusha, S. & Samhitha, R. (2021). Prediction of Trends in Stock Market using Moving Averages and Machine Learning, publicado el 10/05/2021

García, J. (1991). Críticas al análisis técnico y al análisis fundamental en la previsión de tendencias, publicado en 08/1991.

MACHINE LEARNING OPTIMIZATION OF INVESTMENT STRATEGIES IN FINANCIAL MARKETS BASED ON MOVING AVERAGES

Author: Serrano Riera, Ana.

Supervisor: Zamora Macho, Juan Luis.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

In this project an analysis and optimization of classical investment strategies based on moving averages has been carried out. Subsequently, new investment strategies based on neural networks have been proposed in order to understand which would be the optimal strategy. As a result of the work, it can be proved that neural networks outperform the classical method of moving average crossovers and in some cases, the passive strategy (buy & hold).

Keywords: Strategy, investment, averages, moving averages, optimization

1. Introduction

The stock market is a market that acts as an intermediary between buyers and sellers of capital. The objective of any investor is to buy when the stock price is low and sell when it is high. For this purpose, there are two main analyses that are used: fundamental analysis and technical analysis. This project focuses on technical analysis, and especially on the investment strategy based on moving averages. (Dinesh et al., 2021)

Technical analysis is a type of analysis that does not require knowledge in economics or finance, as it does not use the data provided by companies to build financial models. The main objective of this analysis is to predict how a stock price will move over time using mathematical models (Garcia, 1991).

2. Project definition

In this project, the moving average investment strategy will be studied in depth. To do so, a preliminary analysis of what has already been studied in this field is necessary to

know and understand the starting point. Then, these investment strategies based on moving averages are going to be optimized with different cases to analyze. Finally, the machine learning technique will be used and specifically neural networks to study investment strategies different from those obtained by moving averages from the classical strategy. These neural networks take as input the moving averages and the resulting output is the predicted 5 or 10-day return.

3. Project description

This project can be divided into two distinct parts, (i) optimization of the classical investment strategy based on moving averages and (ii) proposal of new investment strategies using neural networks.

The data used throughout the project to perform the different analyses have been obtained from Yahoo Finance, and correspond to the closing prices of American stocks for the last 9 years (2012-2021).

Optimization of classical investment strategies based on moving averages

In this part of the project, an in-depth analysis of the different variables and optimized parameters that influence the stock's profitability has been carried out in order to understand the relationship between them. To do this, the first step was to obtain these optimized parameters. These have been calculated by optimizing/maximizing the active return, discounting the commissions by means of a Matlab loop. This loop stores the information of the parameters corresponding to the optimal profitability. This optimization has been done in 4 different cases.

1. Global optimization: the parameters have been optimized jointly, i.e., the average annual return of all the securities has been maximized at the same time, obtaining common optimal parameters for all the securities,
2. Individual optimization: in this case, each security has been optimized individually, maximizing the average annual return of each security separately.
3. Persistence of the optimum over time, globally: in this case, the same procedure has been followed as in point 1, but optimized for the first 5 years, and the common optimum parameters have been obtained. These optimal parameters

have then been applied for the next 4 years to understand if this optimum is maintained over time.

4. Persistence of the optimum over time, on an individual basis: in this case, the same procedure as in point 2 was followed, but optimized for the first 5 years, and the individual optimum parameters were obtained for each security. These optimal parameters were then applied for the next 4 years in order to understand whether the optimality is maintained over time.

These four optimizations give rise to different matrices that have been analyzed. The main analyses that have been made are briefly explained below:

- Analysis according to whether there is reinvestment or not
- Analysis according to the trend
- Analysis between continuous and continuous variables
 - Annual active return
 - Annual passive return
 - Number of transactions
- Analysis between continuous and discrete variables. The discrete variables are as follows:
 - Market: Nasdaq (represented by the NMS index) and NYSE (represented by the NYQ index).
 - Sector: can take 10 values: health care, technology, industrial, financial services, cyclical consumer, real estate, communication services, energy, materials, counter-cyclical consumer.
 - Industry: can take 10 values: biotech, software-applications, banks-regional, software-infrastructure, diagnostics-research, pharmaceuticals, semiconductors, medical devices, industrial machinery and asset management.
 - Signal type:
 - Signal 1: ratio between the closing price and the average price of the long window (p_c/p_{mvl}).
 - Signal 2: ratio between the average price of the short window and the average price of the long window (p_{mvc}/p_{mvl}).
 - Signal 3: ratio between the average price of the intermediate window and the average price of the long window (p_{mvi}/p_{mvl}).

- Signal 4: ratio between the closing price and the average price of the short window (p_c/p_{mvc}).
- Signal 5: ratio between the closing price and the average price of the intermediate window (p_c/p_{mvi}).
- Signal 6: ratio between the average price of the short window and the average price of the intermediate window (p_{mvc}/p_{mvi}).

Proposal of new investment strategies based on neural networks

In this case we have made use of two different neural networks, shown below:

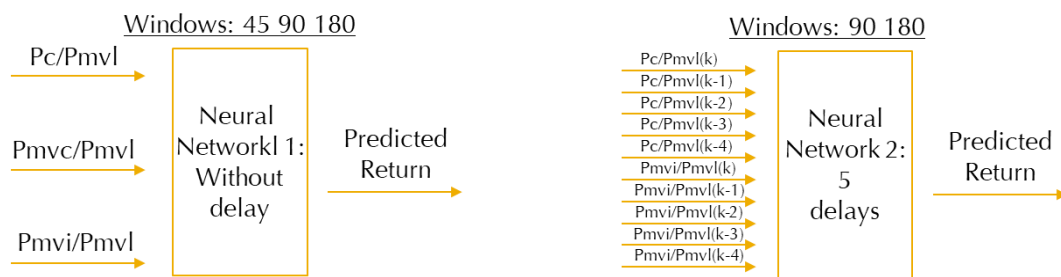


Figure 1: Types of neural networks used

Both networks work in a very similar way, what changes are the input variables. In one case 3 signals are included without any delay and in the second case 10 signals are included in total, corresponding to 5 signals with 5 delays. The choice of these parameters has been made on the basis of the parameters optimized globally over the 10 years. Once the predicted return (5 or 10 days) has been obtained, the buy and sell thresholds that maximize the active return are calculated. When the predicted return is higher than the buy threshold, it will be a time to buy, while if the predicted return is lower than the sell threshold, it will be a time to sell.

4. Results

The results obtained according to the different analyses can be summarized in the following table:

	Annual buy & hold return	Moving average method	Neural network
Global optimization	18.99%	9.25%	14.18%
Individual optimization	18.99%	34.71%	47.46%

Table 1: Summary of results

The results have also been analyzed separately with a further breakdown, shown below:

Comparison of globally optimized investment strategies

	Annual buy & hold return	Moving average method	Neural network
Down trend	-7.82%	-2.78%	-0.81%
Sideway trend	9.75%	4.34%	13.98%
Upward trend	72.51%	31.92%	31.74%

Table 2: Summary of the results in global form according to trend

Table 2 shows that the neural networks improve the profitability in the case of down trend and sideways trend (although in the case of down trend, the profitability is still negative).

	Annual buy & hold return	Moving average method	Neural network
Health Care	5.96%	2.39%	7.05%
Tecnology	31.16%	12.44%	20.80%
Industrials	16.50%	7.45%	13.42%
Financial Services	11.84%	6.41%	19.30%
Cyclical Consumption	19.42%	8.15%	15.74%
Real State	2.56%	0.47%	2.15%
Comunication Services	5.10%	3.85%	10.41%
Energy	-6.14%	-1.96%	0.14%

Basic Materials	4.39%	5.18%	6.60%
Counter-cyclical Consumption	12.91%	4.04%	4.84%

Tabla 3: Summary of results by sector

In Table 3 you can see that the use of neural networks is recommended for the following sectors: healthcare, financial services, communication services, energy and basic materials.

Comparison of individually optimized investment strategies

	Annual buy & hold return	Moving average method	Neural network
Down trend	-7.82%	15.16%	27.89%
Sideway trend	9.75%	20.47%	32.20%
Upward trend	72.51%	76.01%	87.91%

Table 4: Summary of individual results according to trend

Table 4 shows that the use of neural network improves profitability in all cases.

	Annual buy & hold return	Moving average method	Redes neuronales
Healthcare	5.96%	27.98%	45.14%
Tecnology	31.16%	43.03%	52.60%
Industrials	16.50%	26.39%	38.04%
Financial Services	11.84%	20.13%	31.80%
Cyclical Consumption	19.42%	34.03%	46.94%
Real State	2.56%	11.64%	16.76%
Comunication Services	5.10%	30.33%	33.60%
Energy	-6.14%	13.36%	27.25%

Basic Materials	4.39%	23.38%	25.48%
Countercyclical Consumption	12.91%	15.27%	19.00%

Table 5: Summary of individual results by sector

Table 5 shows that the use of neural network is recommended, since it improves the passive profitability and that obtained by the traditional method in all sectors.

5. Conclusions

As conclusions to this work, the following can be highlighted:

- With individual optimization, higher returns are achieved than those obtained with global optimization (as it was expected).
- In the case of global optimization, some results last over time, while in the case of individual optimization, they do not.
- Neural networks outperform the classical method based on moving average crossovers and the passive method in the case of individual optimization. In the case of global optimization, the use of neural networks outperforms the passive method in some cases.

As future work to continue with what has been analyzed in this project, further analysis could be carried out, including:

- Analyze persistence over time using neural networks, which is the optimal strategy.
- Analyze more neural networks with different inputs/parameters.
- Combining neural networks with other indicators.

6. References

Dinesh, S., Rao, N, Anusha, S. & Samhitha, R. (2021). Prediction of Trends in Stock Market using Moving Averages and Machine Learning, published on 10/05/2021

Garcia, J. (1991). Critiques of technical analysis and fundamental analysis in trend forecasting, published on 08/1991.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	11
1.1 Descripción.....	11
1.2 Motivación	11
1.3 Objetivo.....	11
1.4 Metodología.....	12
1.5 Recursos empleados	12
1.6 Estructura de la memoria.....	12
Capítulo 2. Estado del arte	14
2.1 Introducción.....	14
2.2 Análisis fundamental vs. Análisis técnico.....	15
2.3 Limitaciones de cada tipo de análisis	17
2.4 Medias móviles.....	19
2.4.1 ¿Qué son las medias móviles?.....	19
2.4.2 Señales de compra y de venta.....	22
2.4.3 Mercados donde se ha aplicado anteriormente las medias móviles	24
2.5 Técnicas de aprendizaje automático.....	24
2.5.1 Aplicación del aprendizaje automático en el análisis técnico.....	27
2.5.2 Redes neuronales.....	24
Capítulo 3. Medias.....	33
3.1 Introducción.....	33
3.2 Estrategia de inversión	35
3.2.1 Análisis con los mismos parámetros (ventanas y señales) en función de la tendencia..	35
3.2.2 Análisis cambiando los parámetros	38
3.2.2.1 Análisis cambiando las ventanas y manteniendo las señales de compra/venta	38
3.2.2.2 Análisis cambiando las señales de compra/venta y manteniendo las ventanas	45
3.3 Conclusiones	56
Capítulo 4. Optimización de la estrategia.....	58
4.1 Introducción.....	58
4.2 Método que se ha utilizado.....	58

4.3	Diferentes casos de optimización	60
4.3.1	<i>Optimización global para todos los valores</i>	61
4.3.1.1	Análisis inicial para la decisión de los parámetros	61
4.3.1.2	Análisis en función de si hay reinversión o no	65
4.3.1.3	Análisis en función de la tendencia (bajista, lateral, alcista)	67
4.3.1.4	Análisis en función de las variables continuas y discretas	68
4.3.2	<i>Optimización individual de cada valor</i>	75
4.3.2.1	Análisis sobre los parámetros óptimos	75
4.3.2.2	Análisis en función de si hay reinversión o no	76
4.3.2.3	Análisis en función de la tendencia (bajista, lateral, alcista)	77
4.3.2.4	Análisis en función de las variables continuas y discretas	78
4.3.3	<i>Persistencia del óptimo en el tiempo</i>	78
4.3.3.1	Análisis para la optimización global	87
4.3.3.2	Análisis para la optimización individual	95
4.4	Conclusiones	104
Capítulo 5. Predicción de rentabilidades futuras mediante aprendizaje automático ..		108
5.1	Introducción.....	108
5.1.1	<i>Redes neuronales</i>	108
5.1.2	<i>Combinación de las medias móviles con redes neuronales</i>	108
5.2	Casos de optimización.....	110
5.2.1	<i>Análisis inicial sobre los parámetros óptimos</i>	110
5.2.2	<i>Optimización global para todos los valores</i>	111
5.2.2.1	Análisis en función de la tendencia	111
5.2.2.2	Análisis en función del sector	113
5.2.3	<i>Optimización de cada valor de forma individual</i>	114
5.2.3.1	Análisis en función de la tendencia	115
5.2.3.2	Análisis en función del sector	116
Capítulo 6. Comparación de estrategias		118
6.1	Introducción.....	118
6.1.1	<i>Comparación de la estrategia de optimización global</i>	118
6.1.2	<i>Comparación de la estrategia de optimización individual</i>	121
Capítulo 7. Conclusiones y Trabajos Futuros		125

Capítulo 8. Bibliografía..... 126

Índice de figuras

<i>Figura 1: Ejemplo de medias móviles (25 días).....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2: Señales de compra y venta IBM.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3: Señales de compra y venta GOOGL.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 4: Señales de compra y venta AAPL.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5: Debilitamiento del S&P 500 (Ermey, 2019).....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 6: Estructura de una red neuronal (AtriaInnovation, 2019).....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 7: Red Monocapa (Ballesteros, A. & Domínguez, E., 2020).....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 8: Red multicapa (Ballesteros, A. & Domínguez, E., 2020).....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 9: Conexión típica.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 10: Conexión con salto.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 11: Conexión recurrente.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 12: Aplicación del machine learning junto con las medias móviles.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 13: Aplicación del machine learning IBM.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 14: Aplicación del machine learning GOOGL.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 15: Aplicación del machine learning AAPL.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 16: Señales de compra y venta.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 17: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics ‘GE’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3].....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 18: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3].....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 19: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories ‘ABT’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3].....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 20: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics ‘GE’ con ventanas [12, 24, 48] y Señales [1, 3].....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 21: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics ‘GE’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3].....</i>	<i>39</i>

<i>Figura 22: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics ‘GE’ con ventanas [50, 100, 200] y Señales [1, 3]</i>	<i>39</i>
<i>Figura 23: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’ con ventanas [12, 24, 48] y Señales [1, 3].....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 24: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3].....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 25: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’ con ventanas [50, 100, 200] y Señales [1, 3].....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 26: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories ‘ABT’ con ventanas [12, 24, 48] y Señales [1, 3]</i>	<i>42</i>
<i>Figura 27: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories ‘ABT’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]</i>	<i>43</i>
<i>Figura 28: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories ‘ABT’ con ventanas [50, 100, 200] y Señales [1, 3]</i>	<i>43</i>
<i>Figura 29: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics ‘GE’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 1]</i>	<i>46</i>
<i>Figura 30: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics ‘GE’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 2]</i>	<i>46</i>
<i>Figura 31: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics ‘GE’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]</i>	<i>47</i>
<i>Figura 32: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics ‘GE’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 2]</i>	<i>47</i>
<i>Figura 33: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics ‘GE’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 3]</i>	<i>47</i>
<i>Figura 34: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics ‘GE’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [3, 3]</i>	<i>48</i>
<i>Figura 35: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 1].....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 36: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 2].....</i>	<i>49</i>

<i>Figura 37: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3].....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 38: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 2].....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 39: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 3].....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 40: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [3, 3].....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 41: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories ‘ABT’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 1]</i>	<i>52</i>
<i>Figura 42: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories ‘ABT’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 2]</i>	<i>52</i>
<i>Figura 43: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories ‘ABT’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]</i>	<i>53</i>
<i>Figura 44: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories ‘ABT’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 2]</i>	<i>53</i>
<i>Figura 45: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories ‘ABT’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 3]</i>	<i>54</i>
<i>Figura 46: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories ‘ABT’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [3, 3]</i>	<i>54</i>
<i>Figura 47: Análisis de la rentabilidad activa en función de las ventanas y el tipo de señal (3D).....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 48: Análisis de la rentabilidad activa en función de las ventanas y el tipo de señal (2D).....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 49: Matriz de rentabilidades</i>	<i>63</i>
<i>Figura 50: Análisis del número de operaciones en función de las ventanas y el tipo de señal</i>	<i>64</i>
<i>Figura 51: Matriz de número de operaciones.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 52: Relación de la rentabilidad anual activa con reinversión (%) en función de la rentabilidad anual activa sin reinversión (%).....</i>	<i>66</i>

<i>Figura 53: Relación de las rentabilidades, número medio anual de operaciones y ventana larga en función de la tendencia de la acción.....</i>	67
<i>Figura 54: Relación entre variables continuas.....</i>	68
<i>Figura 55: Relación entre variables continuas y la variable discreta, mercado.....</i>	69
<i>Figura 56: Relación entre variables continuas y la variable discreta, sector.....</i>	70
<i>Figura 57: Relación entre variables continuas y la variable discreta, industria.....</i>	72
<i>Figura 58: Relación entre variables continuas y variables continuas discretizadas.....</i>	74
<i>Figura 59: Relación de la rentabilidad anual activa con reinversión (%) en función de la rentabilidad anual activa sin reinversión (%).....</i>	77
<i>Figura 60: Relación de las rentabilidades, número medio anual de operaciones y ventana larga en función de la tendencia de la acción.....</i>	78
<i>Figura 61: Relación entre variables continuas: número medio anual de operaciones, rentabilidad media anual activa (%) y rentabilidad media anual pasiva (%).....</i>	79
<i>Figura 62: Relación entre variables continuas y la variable discreta, mercado.....</i>	80
<i>Figura 63: Relación entre variables continuas y la variable discreta, sector.....</i>	81
<i>Figura 64: Relación entre variables continuas y la variable discreta, industria.....</i>	83
<i>Figura 65: Relación entre variables continuas y la variable discreta, señal, con la condición de compra o venta.....</i>	84
<i>Figura 66: Relación entre variables continuas y variables continuas discretizadas.....</i>	86
<i>Figura 67: Relación de las rentabilidades, número medio anual de operaciones y ventana larga en función de la tendencia de la acción en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha).....</i>	88
<i>Figura 68: Relación durante los cinco primeros años entre variables continuas.....</i>	88
<i>Figura 69: Relación durante los siguientes cuatro años entre variables continuas.....</i>	89
<i>Figura 70: Relación entre variables continuas y la variable discreta, mercado en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha).....</i>	90
<i>Figura 71: Relación entre variables continuas y la variable discreta, sector en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha).....</i>	91
<i>Figura 72: Relación entre variables continuas y la variable discreta, industria en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha).....</i>	92

<i>Figura 73: Relación entre variables y variables continuas discretizadas en los primeros cinco años.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 74: Relación entre variables continuas y variables continuas discretizadas en los cuatro años siguientes.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 75: Relación de las rentabilidades, número medio anual de operaciones y ventana larga en función de la tendencia de la acción en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha).....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 76: Relación durante los cinco primeros años entre variables continuas.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 77: Relación los siguientes cuatro años entre variables continuas.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 78: Relación entre variables continuas y la variable discreta en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha).....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 79: Relación entre variables continuas y la variable discreta, sector en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha).....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 80: Relación entre variables continuas y la variable discreta, industria en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha).....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 81: Relación en los cinco primeros años entre variables continuas y la variable discreta, señal, con la condición de compra o venta.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 82: Relación en los cuatro años siguientes variables continuas y la variable discreta, señal, con la condición de compra o venta.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 83: Relación durante los cinco primeros años entre variables y variables continuas discretizadas.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 84: Relación durante los cuatro años siguientes entre variables continuas y variables continuas discretizadas.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 85: Red neuronal 1.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 86: Red neuronal 2.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 87: Rentabilidad anual activa media en función de los casos de optimización....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 88: Relación de las rentabilidades, número medio anual de operaciones y ventana larga en función de la tendencia de la acción.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 89: Relación entre variables continuas y la variable discreta, sector.....</i>	<i>113</i>

Figura 90: Relación de las rentabilidades, número medio anual de operaciones y ventana larga en función de la tendencia de la acción..... 115

Figura 91: Relación entre variables continuas y la variable discreta, sector..... 116

Figura 92: Comparación de las estrategias de optimización global en función de la tendencia (izquierda: método de medias móviles / derecha: redes neuronales)..... 119

Figura 93: Comparación de las estrategias de optimización global en función del sector (izquierda: método de medias móviles / derecha: redes neuronales) 120

Figura 94: Comparación de las estrategias de optimización individual en función de la tendencia (izquierda: método de medias móviles / derecha: redes neuronales)..... 122

Figura 95: Comparación de las estrategias de optimización individual en función del sector (izquierda: método de medias móviles / derecha: redes neuronales) 123

Índice de tablas

<i>Tabla 1: rentabilidades anuales activas en función de la ventana y de la tendencia de la acción</i>	44
<i>Tabla 2: número de operaciones en función de la ventana y de la tendencia de la acción</i>	44
<i>Tabla 3: rentabilidades anuales activas en función del tipo de señal y de la tendencia de la acción</i>	55
<i>Tabla 4: número de operaciones en función del tipo de señal y de la tendencia de la acción</i>	56
<i>Tabla 5: Porcentaje de máximos de la rentabilidad activa y Media de la rentabilidad activa según la estrategia utilizada (sin inversión o con inversión).....</i>	66
<i>Tabla 6: Combinación de parámetros que más se repiten en el caso individual.....</i>	76
<i>Tabla 7: Porcentaje de máximos de la rentabilidad activa y Media de la rentabilidad activa según la estrategia utilizada (sin inversión o con inversión).....</i>	76
<i>Tabla 8: Parámetros utilizados y decisión de reinversión en función de la utilización de parámetros comunes o individuales</i>	105
<i>Tabla 9: Resumen de resultados de número medio anual de operaciones, rentabilidad media anual activa y pasiva de la optimización de cada acción utilizando parámetros comunes o individuales.....</i>	105
<i>Tabla 10: Resumen de resultados de número medio anual de operaciones, rentabilidad media anual activa y pasiva de la optimización de cada acción utilizando parámetros comunes o individuales y distinguiendo los cinco primeros años de los cuatro siguientes</i>	107
<i>Tabla 11: Resumen de los 12 casos de optimización de forma global.....</i>	110
<i>Tabla 12: Resumen comparativo de las tres estrategias.....</i>	125

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN

En este proyecto se ha realizado un estudio de diferentes estrategias de inversión, basadas en medias móviles para entender si, con el análisis técnico de las acciones se consigue mejorar la rentabilidad pasiva (buy and hold). Para ello se ha hecho uso de las estrategias clásicas de inversión basadas en medias móviles y del uso del aprendizaje automático, aplicando redes neuronales y combinándolas con los cruces las medias móviles.

1.2 MOTIVACIÓN

Una de las principales motivaciones de este proyecto es poder desarrollar a fondo diferentes técnicas de aprendizaje automático para encontrar estrategias de inversiones que permitan mejorar la rentabilidad de la cartera.

El mercado bursátil es un área que se ha explorado, ya que, aparte de ser interesante para cualquier inversor, ofrece una gran cantidad de datos (obtenidos a partir de Yahoo.com) que permiten explorar a fondo las diferentes técnicas de aprendizaje automático.

Por lo tanto, las herramientas usadas en este proyecto, aunque están enfocadas en las estrategias de inversión a largo plazo, pueden ser utilizadas en diferentes campos.

1.3 OBJETIVO

Los objetivos principales de este proyecto son:

- Análisis y optimización de las estrategias clásicas de inversión basadas en medias móviles.
- Propuesta de nuevas estrategias de inversión basadas en redes neuronales que utilizan como datos de entrada las medias móviles de los precios diarios de cierre.

- Comparación de la rentabilidad de las estrategias de inversión basadas en el uso de una red neuronal con las estrategias clásicas basadas en cruces de medias móviles.

1.4 METODOLOGÍA

- Estudio de las estrategias de inversión basadas en indicadores de tendencia.
- Familiarizarse con el entorno de trabajo, que en este caso será Matlab.
- Familiarizarse con las medias móviles.
- Aplicación de medias móviles.
- Análisis de la rentabilidad.
- Optimización de las técnicas.
- Uso de redes neuronales para la búsqueda de nuevas estrategias de inversión.

1.5 RECURSOS EMPLEADOS

Para la realización de este trabajo se va a utilizar principalmente MATLAB (versión R2020a), y toolboxes financieras que será donde se analicen todos los datos y se lleguen a las conclusiones.

Aparte de este programa, se usará Yahoo.com para obtener el valor de todas las acciones que se van a analizar. Se usarán precios diarios de cierre durante los últimos 9 años (26 de Abril 2012 – 23 de Abril 2021)

1.6 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

Este trabajo se ha estructurado en 8 capítulos diferentes:

- Capítulo 1: “Introducción”. En este capítulo (capítulo actual), se ha realizado una breve introducción al proyecto, explicando la motivación y los recursos empleados.

- Capítulo 2: “Estado del arte”. En este capítulo se ha hecho una investigación en relación con las medias móviles y la combinación de este método con las redes neuronales.
- Capítulo 3: “Medias”. En este capítulo se introduce la estructura de datos que se ha utilizado a lo largo del proyecto. Además, se ha analizado la estrategia de inversión basada en medias móviles para tres acciones en concreto (tendencia bajista, alcista y lateral)
- Capítulo 4: “Optimización de la estrategia”. En este capítulo se ha hecho un análisis en profundidad de diferentes casos de optimización de la estrategia basada en medias para entender el impacto que hay entre diferentes parámetros
- Capítulo 5: “Predicción de rentabilidades futuras mediante aprendizaje automático”. En este capítulo se ha hecho uso de las redes neuronales, usando como entrada las medias móviles para predecir las rentabilidades futuras.
- Capítulo 6: “Comparación de estrategias”. En este capítulo se ha realizado una comparación de las estrategias optimizadas según el método clásico de cruces de medias con la estrategia optimizada mediante redes neuronales.
- Capítulo 7: “Conclusiones y trabajos futuros”. En este capítulo se ha resumido las conclusiones obtenidas a lo largo de todo el proyecto
- Capítulo 8: “Bibliografía”

Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE

2.1 INTRODUCCIÓN

La bolsa de valores es un mercado que hace función de intermediario entre compradores y vendedores de capital. Gracias a este mercado, se puede conocer el precio de un activo en un determinado momento gracias a la ley de la oferta y la demanda. Si la demanda de un activo sube (muchas personas están interesadas en comprar un determinado activo), el precio subirá, en cambio, si baja (muy pocas personas están interesadas en comprar dicho activo), el precio bajará.

En la actualidad es posible intercambiar activos en cualquier lugar del mundo, siendo algunas de las bolsas de valores más importantes y conocidas las siguientes (Broseta, 2020):

1. Bolsa de Nueva York (NYSE)
2. NASDAQ
3. Bolsa de Tokio
4. Bolsa de Londres
5. Bolsa de Hong Kong
6. Bolsa de Shangai
7. Bolsa de Toronto
8. Deutsche Börse
9. Australian Securities Exchange
10. Bombay Stock Exchange

En España hay cuatro bolsas de valores (Broker Online, 2020):

1. Bolsa de Madrid: la más importante y antigua
2. Bolsa de Barcelona
3. Bolsa de Valencia
4. Bolsa de Bilbao

El índice más conocido en España es el IBEX 35, donde operan las 35 empresas con mayor liquidez que cotizan en las cuatro bolsas mencionadas anteriormente.

2.2 ANÁLISIS FUNDAMENTAL VS. ANÁLISIS TÉCNICO

El objetivo de los inversores es realizar una transacción rentable, es decir, comprar valores por un precio bajo y venderlos por un precio alto. Sin embargo, esta estrategia no es fácil de conseguir, ya que es difícil determinar cuándo una acción está lo suficientemente baja como para comprar y alta como para vender. Por esta razón, los inversores no solo se fijan en el precio de la acción a la hora de realizar una transacción, sino que hay muchas otras variables que influyen en la toma de decisiones (Dinesh et al., 2021).

Existen fundamentalmente dos tipos de análisis que los inversores utilizan al invertir, que son el análisis fundamental y el análisis técnico. Estos análisis tienen en común que sirven principalmente para ayudar al inversor a tomar la decisión de cuándo comprar y cuándo vender una determinada acción para lograr la mayor rentabilidad posible. Sin embargo, cada análisis está basado en un fundamento totalmente diferente que se va a explicar a continuación.

El análisis fundamental, también llamado análisis financiero tiene su fundamento en la teoría macroeconómica y de valores. Estudia los movimientos de los precios de las acciones según variables económicas de cada empresa que cotiza en bolsa. Para ello, los inversores que utilizan dicho análisis toman como datos los que facilita la propia empresa, obteniendo el valor intrínseco de la compañía y viendo si la empresa está sobrevalorada o infravalorada en comparación con las perspectivas de generación de beneficios y con el entorno en el que

trabaja dicha empresa. El precio de la acción depende de muchas variables económicas, como pueden ser los beneficios, el cash flow generado, la evolución de los ingresos, de la industria, o incluso del lugar donde realiza la actividad. Estas variables ayudan al inversor a determinar un multiplicador, como puede ser Enterprise Value/EBITDA (hay de muchos tipos). Este multiplicador, se puede multiplicar por el EBITDA que se encuentra en los estados financieros de la empresa, y daría lugar al valor intrínseco de la empresa. Con el valor intrínseco y el valor de mercado (valor por el que está cotizando la empresa en el mercado de valores) se puede determinar si el valor está infravalorado o sobrevalorado (García, 1991). Cuando el valor intrínseco es mayor que el valor de mercado, la empresa estaría infravalorada, ya que, según el análisis realizado, el valor de la empresa es superior a lo que el mercado está reconociendo. Por lo tanto, en esta situación, se recomendaría la compra (Vozpopuli, 2020).

El análisis técnico es un tipo de análisis que no requiere conocimientos en economía o finanzas, ya que no utiliza los datos que las empresas proporcionan para elaborar modelos financieros. El objetivo principal de este análisis es predecir cómo se va a mover la cotización de una acción a lo largo del tiempo mediante modelos matemáticos (García, 1991) utilizando información pasada del precio de las acciones (Treynor & Ferguson, 1985). En dicho análisis, los inversores se basan en tres premisas fundamentales (Murphy, 1999):

1. Todo lo que afecta al precio del mercado, ya está reflejado en dicho precio. Por este motivo, lo único que importa es el estudio de los precios.
2. Las tendencias son fundamentales en el análisis técnico. Es fundamental identificar y seguir dichas tendencias.
3. La historia se repite.

Para el análisis técnico se usan diferentes indicadores, que son cálculos matemáticos que se pueden aplicar al precio de una acción y se usa para anticipar cambios en el precio futuro. Hay numerosos tipos de indicadores, y se pueden separar en dos categorías fundamentales (indicadores adelantados y atrasados). Los indicadores adelantados, también conocidos como leading, ayudan a predecir cómo se van a comportar los precios en el futuro cercano

para poder obtener un beneficio, mientras que los indicadores atrasados, también conocidos como lagging detectan si los precios están bajando o subiendo y se usan para detectar tendencias a largo plazo. Por lo tanto, los indicadores atrasados siguen tendencias, mientras que los adelantados las predicen (Achelis, 2014).

Los indicadores de tendencias a largo plazo más utilizadas se muestran a continuación (Killian, 2019):

1. Media móvil simple: Se usa para identificar tendencias. Filtra el ruido del mercado para aclarar el sentido de la tendencia.
2. Media móvil exponencial: Similar a la media móvil, pero da más peso a los datos recientes.
3. Convergencia/divergencia de medias móviles (MACD): Detecta cambios comparando dos medias móviles. Cuando hay convergencia es porque dos medias móviles se están acercando, y divergencia es que se están alejando
4. Bandas de Bollinger: Tal como su nombre indica, proporciona bandas (rangos), dentro del cual el precio el activo se negocia. Cuanta más volatilidad, más amplio será el rango (más ancha será la banda) y viceversa.

2.3 LIMITACIONES DE CADA TIPO DE ANÁLISIS

Una de las principales limitaciones del análisis fundamental es que los datos que se utilizan son históricos, ya que los balances disponibles de las empresas suelen llevar algún tipo de retraso. En muchas ocasiones, dichos datos también pueden tener valoraciones subjetivas y en los balances, algunas actividades se contabilizan en una línea u otra dependiendo de la manera de proceder de la empresa o del inversor, lo que cambiaría la valoración en función de quién la haga. Además, también hay una opinión de que en los valores que representan la bolsa, no valen lo que realmente valen. Por ejemplo, muchas veces se ha visto empresas con grandes expectativas que no se ha visto reflejada dicha oportunidad en el mercado de valores (García, 1991).

En cuanto al análisis técnico, es cierto que este tipo de análisis es menos conocido en el mundo de la inversión, ya que las personas que se dedican a invertir suelen analizar las empresas con técnicas económicas. Además, si todo el mundo utilizara este tipo de análisis, la gente estaría basando su inversión en la misma información. Sin embargo, según un análisis de la revista Business Week, inversores que basan su decisión en base a las mismas gráficas obtenidas con el análisis técnico, concluyeron resultados diferentes. Es decir, hay diversas opiniones en función de quién interpreta las mismas gráficas. Otra limitación es que este análisis se basa en que lo que pasó en el pasado se puede repetir en el futuro, pero esto resulta básico. Por otra parte, este análisis también suele estar atrasado, ya que las señales que da solo se obtienen después de que un cambio/tendencia haya ocurrido (García, 1991).

Además, hay un debate entre los que creen que el mercado es eficiente y los que defienden la inversión mediante análisis técnico. Los primeros, que muchos son académicos, creen que el análisis técnico no puede predecir las tendencias futuras, y, por lo tanto, superar a la estrategia pasiva (comprar y vender al final). Esto es porque creen que, al ser el mercado eficiente, los precios no siguen una tendencia, sino que están determinados de forma aleatoria. Los segundos han realizado números estudios, documentados en “academic papers”, donde demuestran que el uso del análisis técnico puede predecir el comportamiento de los mercados de acciones, si bien es cierto que no pueden ser explicados de forma totalmente satisfactoria a través de modelos empíricos. Cabe destacar, entre otros, los papers: “Simple Technical Trading Rules and the Stochastic Properties of Stock Returns” (Brock et al., 1991); “Technical trading strategies and return predictability: NYSE” (Kwon & Kish, 2002); “What do we know about the profitability of technical analysis?” (Park & Irwin, 2007); o el titulado “Nonlinearity everywhere: implications for empirical finance, technical analysis and value at risk” (Amini et al., 2021).

2.4 MEDIAS MÓVILES

2.4.1 ¿QUÉ SON LAS MEDIAS MÓVILES?

El uso de medias móviles es una técnica dentro del análisis técnico que se usa para identificar tendencias en los precios de un determinado valor. Fijándose únicamente en la gráfica de los precios de cierre de cada día, puede ser difícil determinar una tendencia, ya que todos los valores tienen fluctuaciones, lo que dificultaría encontrar dichas tendencias. Por este motivo, es común el uso de medias móviles, que, aunque no te dice el precio exacto en cada momento, sí que da una idea de si ese valor está subiendo o bajando. El cálculo matemático de las medias móviles es muy sencillo. Simplemente se suma el precio de cierre del valor de cada día y se divide entre el número de días que se ha usado (definición de media). Uno de los parámetros más importantes de la media móvil es el número de días, ya que esto determinará una media u otra. Según la literatura, los periodos de días más comunes son 50, 100, 150 y 200 días (Kwon & Kish, 2002), pero cada persona puede usar el número que quiera. En este trabajo se va a analizar cómo influye el uso de diferentes periodos para ver cuál sería el óptimo. Gracias al uso de esta técnica, se consigue suavizar las fluctuaciones y el ruido del precio de cierre de las acciones (Mahony, 2020).

En la siguiente Figura se puede observar un ejemplo de aplicación de medias móviles a 25 días. La curva con fluctuaciones representa el precio de la acción, mientras que la curva azul es la media móvil. Se puede observar que es necesario esperar 25 días desde el primer día para poder empezar a hacer el cálculo de la media móvil (Achelis, 2014).



Figura 1: Ejemplo de medias móviles (25 días)

En la siguiente figura se puede ver uno de los problemas que tiene el indicador de medias móviles, al ser un indicador atrasado. Se puede comprobar que las primeras señales de compra y venta son rentables, ya que la señal de compra (punto azul) se realiza cuando el precio de la acción es bajo y el momento de la venta (triángulo rojo) cuando el precio de la acción es alto. Sin embargo, la primera señal de venta se da cuando el precio de la acción ya ha empezado a bajar, por lo que el beneficio podría haber sido superior si la señal de compra se hubiera realizado antes. En cuanto a las segundas señales de compra y venta, se puede ver que la transacción no ha resultado rentable, ya que la señal de compra se ha dado cuando el precio de la acción era superior a cuando se dio la señal de venta. Esto se debe principalmente a la latencia (Dinesh et al., 2021).

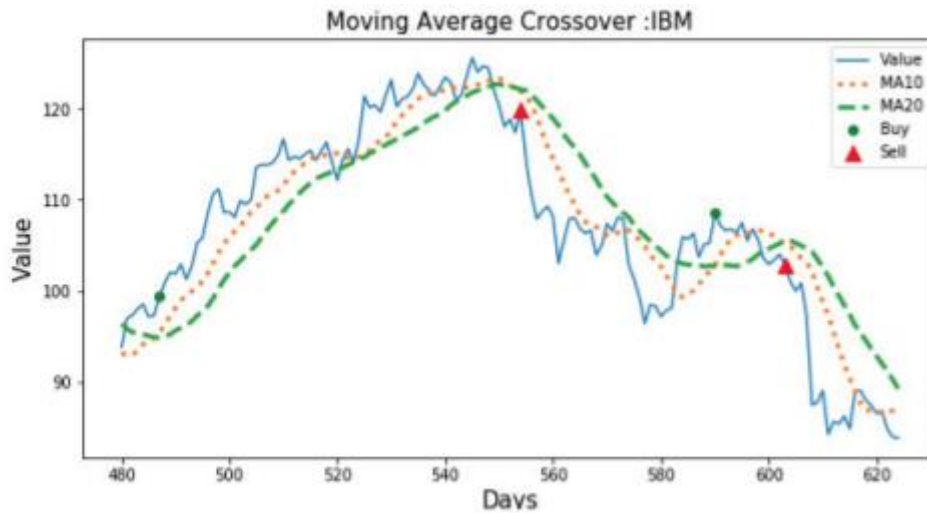


Figura 2: Señales de compra y venta IBM

En la siguiente figura se puede ver que la primera señal de compra se ha realizado cuando ya estaba la tendencia alcista ocurriendo, por lo que si se hubiera generado antes, se hubiera obtenido un beneficio mayor (Dinesh et al., 2021).

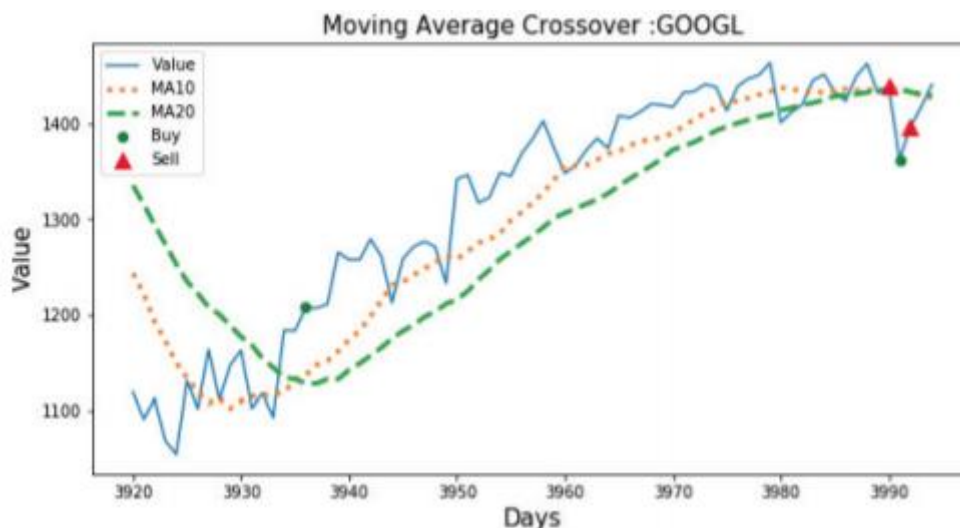


Figura 3: Señales de compra y venta GOOGL

En la siguiente figura, se puede observar lo contrario. La señal de venta se ha hecho demasiado tarde, al final de la tendencia bajista, debido al retraso del indicador de medias. Si se hubiera podido adelantar dicha señal, los beneficios obtenidos habrían sido superiores.

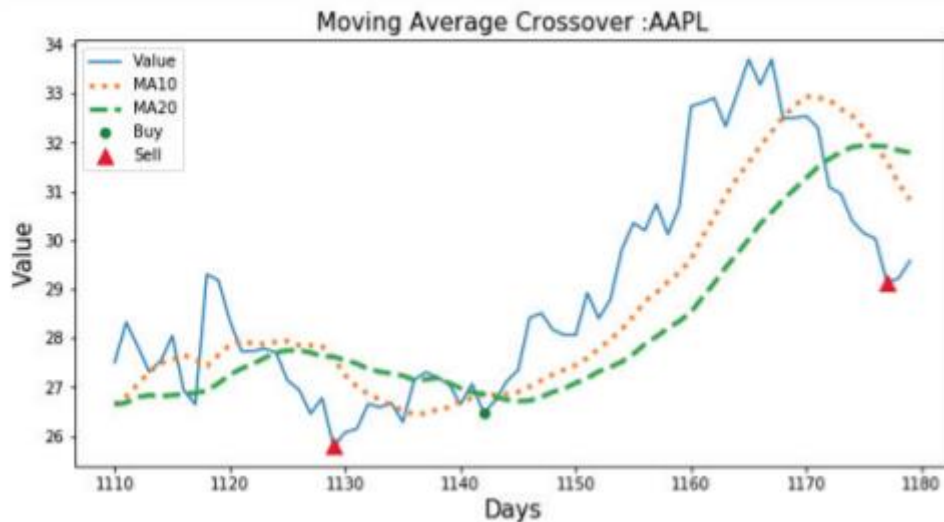


Figura 4: Señales de compra y venta AAPL

2.4.2 SEÑALES DE COMPRA Y DE VENTA

Una vez calculadas las medias que interesan al inversor, es importante calcular las señales que ayuden a determinar si el precio del valor está subiendo o bajando, para determinar si hay que comprar o vender. Hay diferentes tipos de señales, unas más sencillas que otras.

Una de las señales más sencillas es comparar la media móvil calculada con el precio de la acción. Si el precio de la acción está por debajo de su media móvil, significa que la acción se está debilitando lo que podría indicar riesgo e incertidumbre. Sin embargo, cuando el precio está por encima de la media móvil, quiere decir que es probable que la acción vaya a subir y tenga buenos pronósticos en el futuro, por lo que los inversores pueden ser más agresivos y tolerar más el riesgo.

Otro análisis técnico más avanzado es el uso de señales cruzadas, esto quiere decir, el cruce entre medias móviles cortas y largas. Poniendo como ejemplo, se puede usar una media corta (50 días) y una media larga (200 días). En este caso, un momento en el que la acción muestra que la empresa está en un buen momento sería cuando la media móvil corta y la media móvil larga siguen una misma dirección, siendo la media corta superior a la larga. Sin embargo, cuando la media corta cae por debajo de la larga, quiere decir que la empresa entra en

momento de recesión. Si la media corta es menor que la larga, matemáticamente significa que los resultados que está teniendo son peores que los que tuvo, por lo que sería una señal de venta, ya que una recesión a corto plazo puede dar lugar en una recesión a largo plazo. Un ejemplo de esto se muestra en la Figura 5, cuando en diciembre de 2018, la media móvil de 50 días del S&P 500 cayó por debajo de la media móvil de 200 días, mostrando un debilitamiento en este índice.

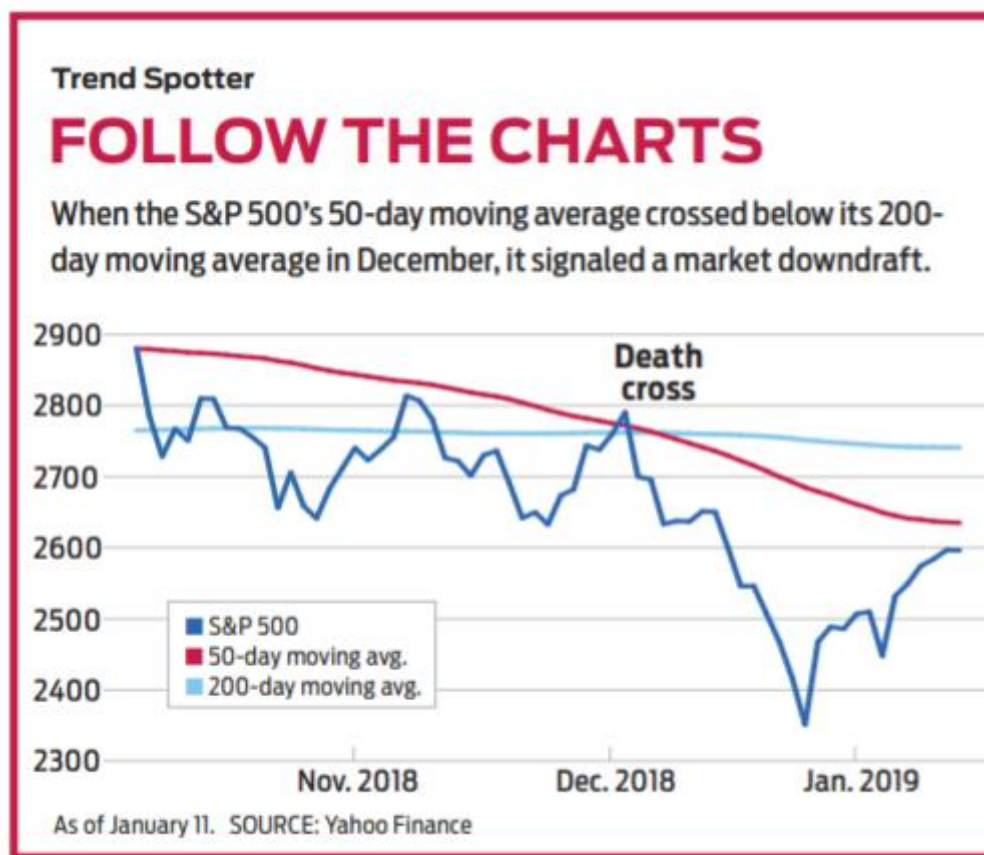


Figura 5: Debilitamiento del S&P 500 (Ermei, 2019)

2.4.3 MERCADOS DONDE SE HA APLICADO ANTERIORMENTE LAS MEDIAS MÓVILES

Son muchos los estudios que se han hecho ya en cuanto a las medias móviles aplicadas a valores en algún mercado. Por ejemplo, hay un estudio que se ha hecho utilizando los precios diarios de 1.565 acciones cotizadas en la bolsa de Londres, durante el periodo de 31 de diciembre de 1999 a 29 de febrero de 2016. En dicho estudio, se concluyó que los retornos, aplicando medias móviles conseguía superar a los de la estrategia pasiva con una volatilidad mucho menor (Ahmad et al., 2017).

2.5 TÉCNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

El objetivo del aprendizaje automático es identificar de manera automática diferentes patrones/tendencias mediante la utilización de algoritmos. Por lo tanto, se creará un modelo que posteriormente se entrenará usando una gran cantidad de datos. El modelo es capaz de hacer predicciones a medida que va aprendiendo.

Hay dos tipos de aprendizaje automático: el no supervisado y supervisado.

En el aprendizaje supervisado, los algoritmos aprenden de los datos introducidos y genera datos de salida que se conocen, ya que dependen del valor de la entrada. En el aprendizaje no supervisado no existe un conjunto de datos de entrada y los resultados son desconocidos (no cuenta con datos de referencia). En este caso, se buscan patrones o relaciones entre los datos introducidos.

2.5.1 REDES NEURONALES

Una neurona artificial es un procesador que recibe unas entradas, las procesa y proporciona una única salida, por lo tanto, entraría dentro de la categoría de aprendizaje supervisado. Cada neurona recibe señales de muchas otras neuronas, formando así, una red neuronal. La característica más importante de una red neuronal es el aprendizaje. Durante el aprendizaje,

se van ajustando todos los pesos de cada rama para obtener la salida deseada, con el fin de que posteriormente, pueda responder a situaciones diferentes (Gómez et al., 1994).

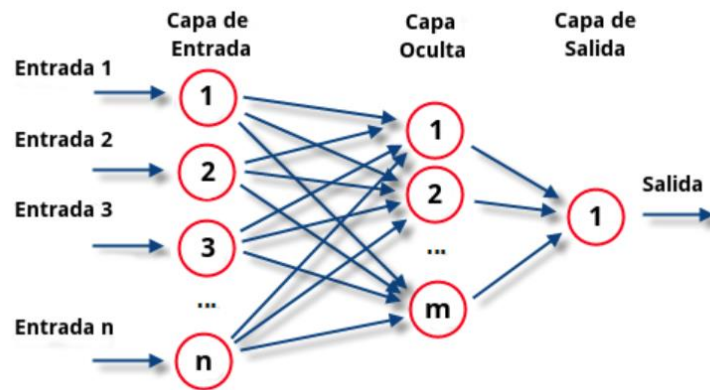


Figura 6: Estructura de una red neuronal (AtriaInnovation, 2019)

Se puede clasificar una red neuronal por Topología:

- Monocapa: redes con una única capa, es decir, todas están conectadas entre sí

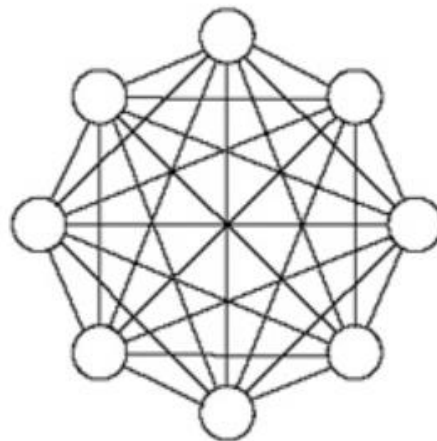


Figura 7: Red Monocapa (Ballesteros, A. & Domínguez, E., 2020)

- Multicapa: redes con más de una capa, ordenadas en función de quién recibe primero una señal

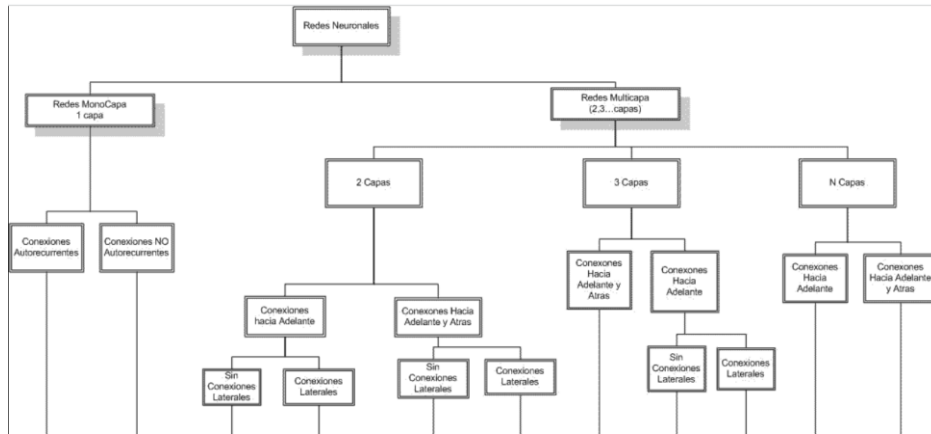


Figura 8: Red multicapa (Ballesteros, A. & Domínguez, E., 2020)

La construcción de una red neuronal tiene varias etapas, descritas a continuación (Carpio, 2005):

- Identificación de qué variable se desea estimar (volatilidad, predicción de precios...)
- Elaboración del conjunto de datos que se necesitan para activar el proceso, incluyendo las variables de entrada y de salida
- Decisión de arquitectura y parámetros para definir los pesos de cada neurona.

Arquitecturas típicas que se pueden encontrar en la literatura son las siguientes:

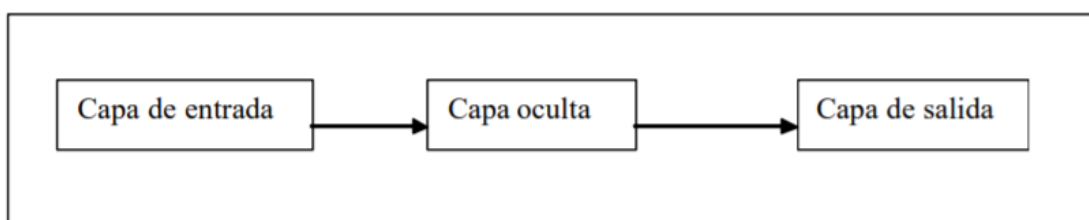


Figura 9: Conexión típica

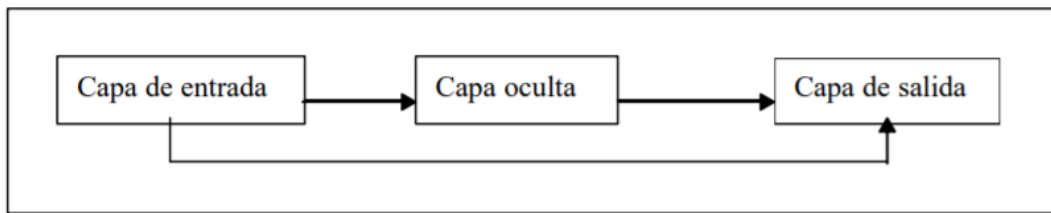


Figura 10: Conexión con salto

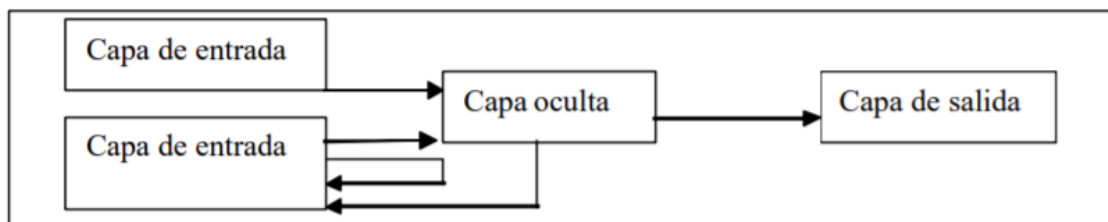


Figura 11: Conexión recurrente

d) Generalización para poder hacer uso de la predicción

Algún ejemplo de aplicación de las redes neuronales en los estudios del mercado de valores ha sido su uso para predecir el signo de los retornos de índices bursátiles. Los resultados de este estudio marcan la conveniencia del uso de redes neuronales para tomar decisiones de inversión, ya que permiten lograr mejor rentabilidad comparándola con una estrategia pasiva, como se demuestra, entre otros, en los papers “Neural networks for technical analysis: A study on KLCI” (Yao et al., 1999) y “Using Neural Networks to Enhance Technical Trading Rule Returns: A Case with KLCI” (Chan & Azliza, 2015). Esta metodología cuenta con una alta capacidad predictiva y de adaptación (Parisi et al., 2006).

2.5.2 APLICACIÓN DEL APRENDIZAJE AUTOMÁTICO EN EL ANÁLISIS TÉCNICO

Como se ha comentado anteriormente, el indicador de medias móviles es un indicador atrasado, ya que su cálculo se basa en datos pasados, por lo que da una señal solo cuando un

gran cambio ocurre. Esto supone una desventaja a la hora de obtener una rentabilidad potencial. Por este motivo, hay trabajos que se han encontrado en la literatura en la que se usa machine learning, en concreto la regresión, para que se pueda predecir con antelación y así no tomar decisiones atrasadas.

El uso de redes neuronales artificiales es una técnica muy usada para la predicción en el mercado de valores, aunque en muchas ocasiones puede tener la desventaja de sufrir de overfitting. El funcionamiento de esta técnica comienza con el entrenamiento del modelo usando los indicadores técnicos para predecir el precio de las acciones o la tendencia (Dinesh et al., 2021).

El modelo que se ha usado en el paper, aplica la regresión en las medias móviles para predecir y sigue los pasos mostrados en la figura siguiente. Los datos coleccionados son de IBM, Google y Apple. Cada valor tiene muchas filas, que representan la fecha y el precio de cierre. Una vez obtenidos los datos, el siguiente paso es obtener las dos medias móviles, por lo que, al terminar este paso, se tienen cuatro datos por filas (fecha, precio de cierre, media móvil de 10 días y media móvil de 20 días). Después se entrena el algoritmo de regresión con las dos medias móviles. Una vez entrenado, se predicen las medias móviles para los días siguientes. Una vez obtenidas las medias móviles se comprueba si hay cruce entre las señales. Si no hay cruce, el modelo devuelve un 0. Si hay cruce y la media móvil corta es superior a la media móvil larga, el modelo devuelve un 1. Sin embargo, si hay cruce y la media móvil corta está por debajo de la larga, el modelo devuelve un -1. Por lo tanto, el modelo puede devolver tres valores (1, -1, 0). Si la salida es -1, el modelo predice una señal de venta, si la salida es 1, el modelo predice una señal de compra y si el modelo predice un 0, según el modelo no se debe realizar ninguna acción.

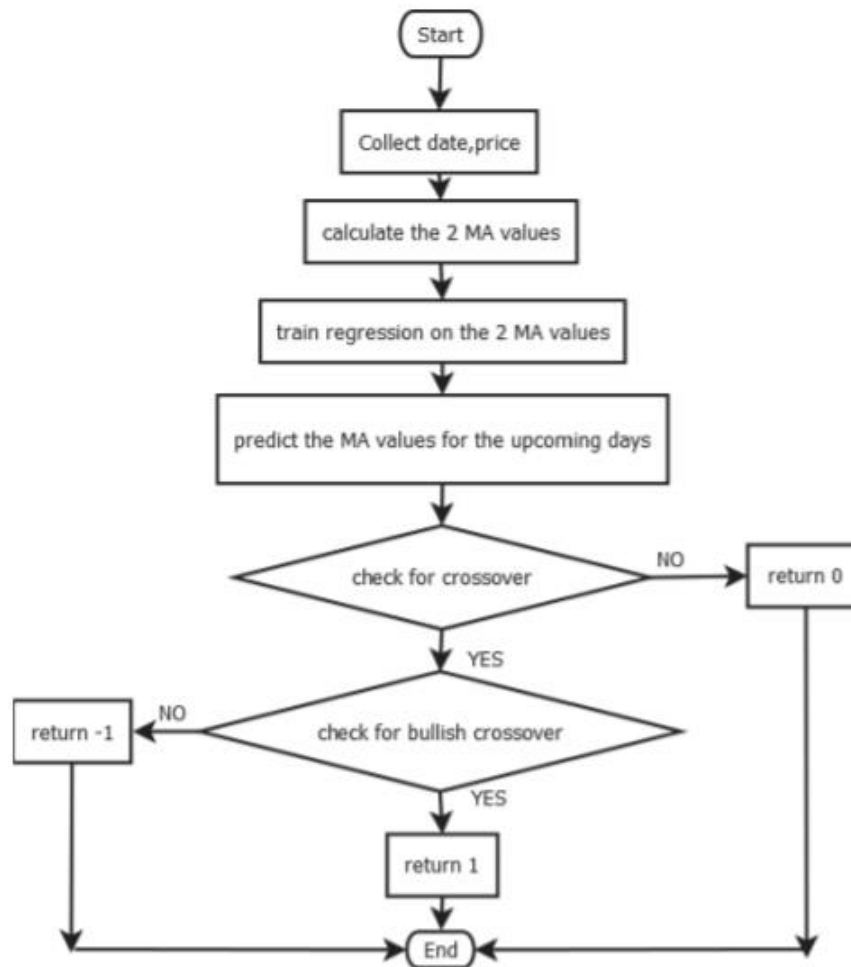


Figura 12: Aplicación del machine learning junto con las medias móviles

Los resultados del modelo de machine learning tuvieron resultados positivos, como se va a mostrar a continuación.

En la Figura 13, se puede ver que con las primeras señales de compra y venta predichas se obtienen mejores beneficios que con las señales obtenidas anteriormente. Ya que la señal de compra se realiza antes, cuando el precio es menor y la de venta se realiza antes cuando el precio es mayor. Con las segundas señales de compra y venta, las que se obtienen con el modelo de machine learning salen rentables, sin embargo, como se vio antes, con las señales obtenidas de compra y venta, la transacción no salía rentable.

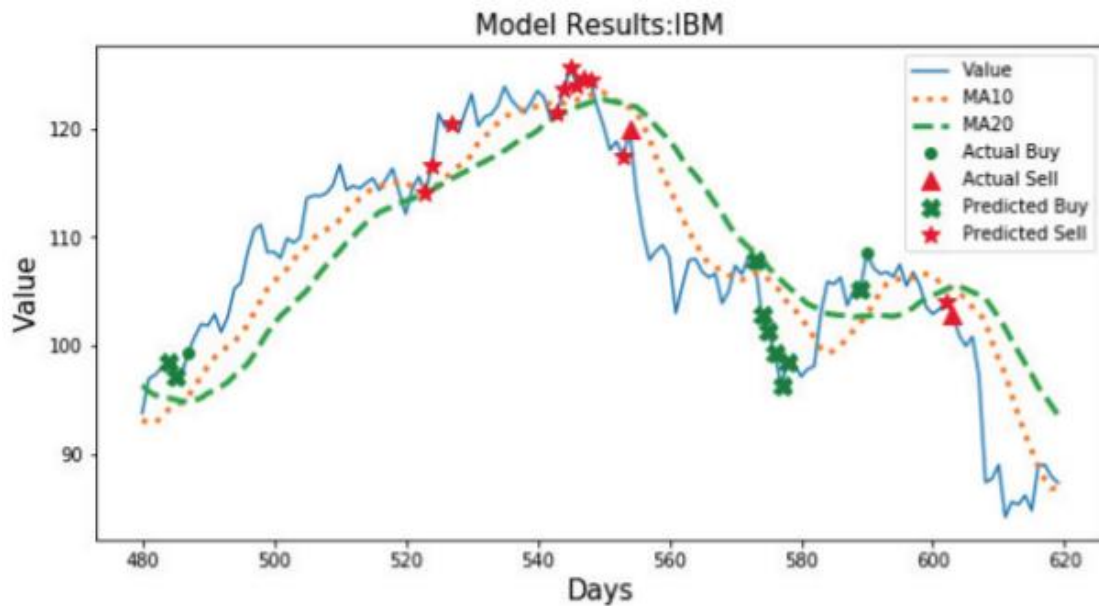


Figura 13: Aplicación del machine learning IBM

Lo mismo ocurre con las dos figuras siguientes. Las señales obtenidas con el modelo de machine learning están adelantadas con respecto a las señales obtenidas sin el modelo, pudiendo así, mejorar la rentabilidad de las transacciones. En el primer caso ocurre que las señales de compra que se obtienen con el machine learning ocurren antes, cuando el precio de la acción es inferior y además se han dado en el comienzo de una tendencia alcista.

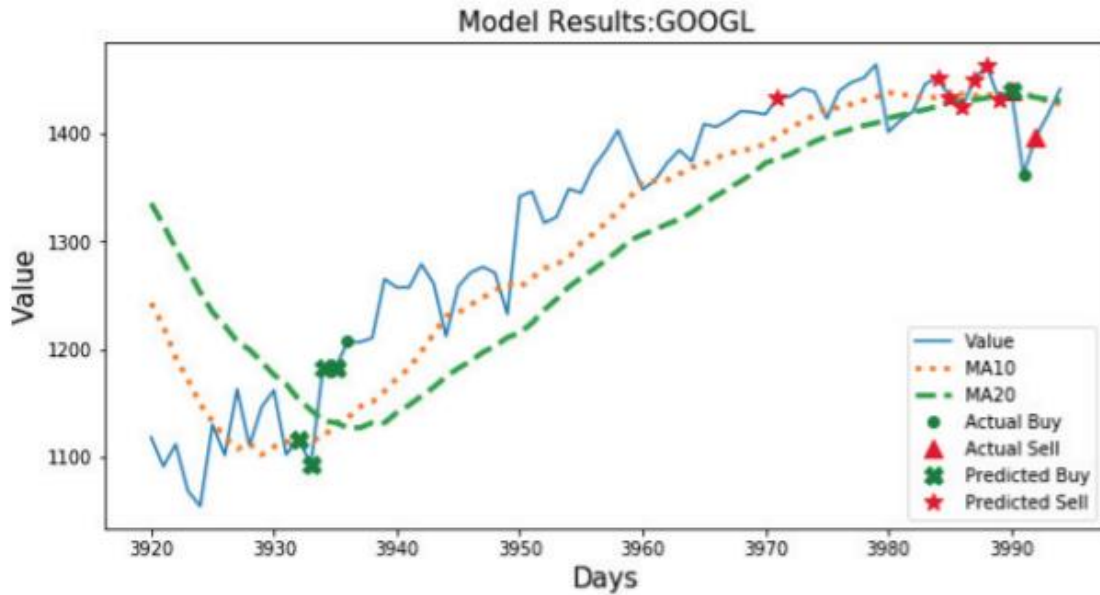


Figura 14: Aplicación del machine learning GOOGL

En el caso siguiente ocurre lo mismo, pero con señales de venta. Estas señales se dan antes cuando el precio de la acción es superior, por lo que los beneficios aumentan.

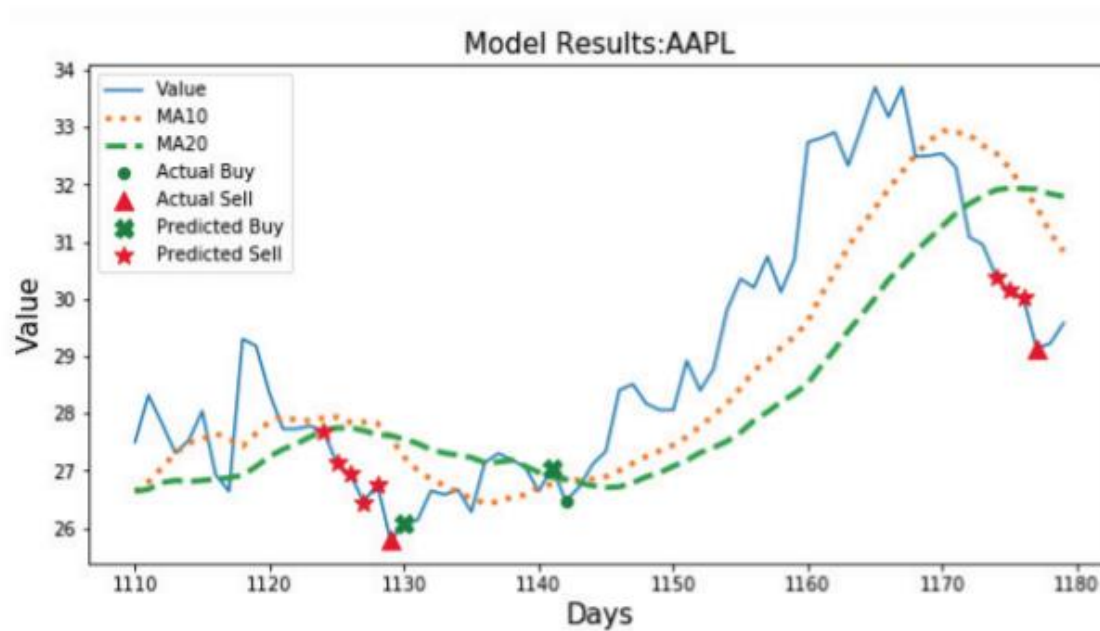


Figura 15: Aplicación del machine learning AAPL

Como conclusión del paper relacionado con las medias móviles y el machine learning, se puede ver que el uso de herramientas de machine learning para superar las desventajas (las señales están atrasadas) del indicador de medias móviles es muy útil. Resulta muy interesante, ya que, gracias a superar dichas desventajas, se consigue aumentar los beneficios (Dinesh et al., 2021). Esta misma conclusión también se obtiene del trabajo “Using Neural Networks to Enhance Technical Trading Rule Returns: A Case with KLCI” (Chan & Azliza, 2015).

Capítulo 3. MEDIAS

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se va a ampliar lo que se ha visto en el anterior, con tres acciones que se han elegido para ver el impacto de los parámetros en el análisis técnico usando como indicador las medias móviles. Se pretende explicar con más detalle la estrategia de inversión basada en medias móviles con tres ejemplos diferentes. La elección se ha basado en la rentabilidad pasiva (buy and hold strategy) de las acciones, obteniendo tres tendencias diferentes. Para ello, se ha cogido el percentil 25 de la rentabilidad pasiva (tendencia bajista), percentil 50 (tendencia lateral) y percentil 75 (tendencia alcista). Las acciones resultantes son:

- General Electrics: tendencia bajista con rentabilidad anual pasiva de -3.08%
- Coca-Cola Europacific Partners: tendencia lateral con rentabilidad anual pasiva de 10.2%
- Abbott Laboratories: tendencia alcista con rentabilidad anual pasiva de 35.4%

Para ello, hay 2 variables que se han ido cambiando: la longitud de las ventanas y las señales de compra y venta.

- La longitud de las ventanas: La unidad de este parámetro es el tiempo y se usa para calcular la media del precio de la acción. Hay tres ventanas para cada análisis: corta, intermedia y larga. Se ha hecho de tal forma que la ventana media sea dos veces la ventana corta y la ventana larga sea cuatro veces la ventana corta. De esta forma se obtienen los siguientes precios medios:
 - Precio medio de la ventana corta (p_{mvc}) = media del precio de la acción durante los z días anteriores, siendo z el valor de la ventana corta.
 - Precio medio de la ventana intermedia (p_{mvi}) = media del precio de la acción durante los y días anteriores, siendo y el valor de la ventana intermedia.
 - Precio medio de la ventana larga (p_{mvl}) = media del precio de la acción durante los x días anteriores, siendo x el valor de la ventana larga.

- Las señales de compra y venta: Hay seis. En Matlab se identifican por los números 1, 2, 3, 4, 5 y 6. El significado es el siguiente:
 - Señal 1: cociente entre el precio de cierre y el precio medio de la ventana larga (p_c/p_{mvl}).
 - Señal 2: cociente entre el precio medio de la ventana corta y el precio medio de la ventana larga (p_{mvc}/p_{mvl}).
 - Señal 3: cociente entre el precio medio de la ventana intermedia y el precio medio de la ventana larga (p_{mvi}/p_{mvl}).
 - Señal 4: cociente entre el precio de cierre y el precio medio de la ventana corta (p_c/p_{mvc}).
 - Señal 5: cociente entre el precio de cierre y el precio medio de la ventana intermedia (p_c/p_{mvi}).
 - Señal 6: cociente entre el precio medio de la ventana corta y el precio medio de la ventana intermedia (p_{mvc}/p_{mvi}).

Estas señales determinan el momento de compra y de venta. Lo primero que hay que hacer es seleccionar el tipo de señal. Por ejemplo, si se selecciona la señal 1, cuando esta sea mayor que 1 será un momento de compra y cuando pase a ser menor que 1 será un momento de venta. Si, por ejemplo, se seleccionan 2 señales, para que haya un momento de compra, se tiene que cumplir que las dos señales sean mayores que uno y para que haya un momento de venta, tiene que ocurrir que las dos señales sean menores que 1.

En la Figura 16 se muestra un ejemplo ilustrativo con la acción de Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’, incluyendo las tres primeras señales: Señal 1, p_c/p_{mvl} (Close / Long mean) en azul; Señal 2, p_{mvc}/p_{mvl} (Short mean / Long mean) en naranja; y Señal 3: p_{mvi}/p_{mvl} (Medium mean / Long mean) en amarillo, de las cuales, para realizar una compra o venta de la citada acción se tienen que cumplir las señales 2 y 3 conjuntamente. En la parte izquierda de la figura se puede ver claramente que el 7 de enero de 2016 es un momento de venta porque tanto la señal 2, p_{mvc}/p_{mvl} , en naranja, como la señal 3, p_{mvi}/p_{mvl} , en amarillo, son menores que 1. De forma análoga, en la parte derecha de la figura, se observa que el 31 de

octubre de 2016 es un momento de compra porque tanto la señal 2, p_{mvc}/p_{mvl} , en naranja, como la señal 3, p_{mvi}/p_{mvl} , en amarillo, son mayores que 1.

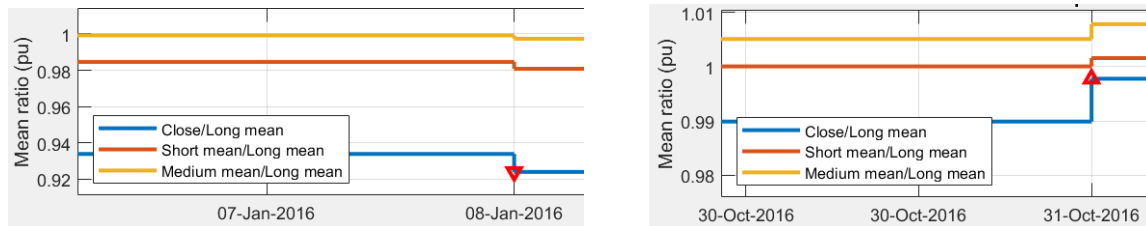


Figura 16: Señales de compra y venta

3.2 ESTRATEGIA DE INVERSIÓN

3.2.1 ANÁLISIS CON LOS MISMOS PARÁMETROS (VENTANAS Y SEÑALES) EN FUNCIÓN DE LA TENDENCIA

Para cada acción, se va a analizar un único caso con los siguientes parámetros:

- Días de las ventanas: ventana corta = 25, ventana media = 50 y ventana larga = 100, que son longitudes de ventanas utilizados en diversos papers, como, entre otros, en el titulado “Technical trading strategies and return predictability: NYSE” (Kwon & Kish, 2002) o en el “Assesing Performance of Moving Average Investment Timing Strategy Over the UK Stock Market”. (Ahmad et al., 2017).
- Tipo de señales = 1 y 3.

El objetivo es entender si, con los mismos parámetros, hay alguna evidencia que se pueda demostrar en función de la tendencia de la acción. En las gráficas que se van a mostrar a continuación, el símbolo que es un triángulo rojo apuntando hacia arriba, representa una señal de compra, mientras que el triángulo rojo apuntando hacia abajo representa una señal de venta. Cabe destacar que en las siguientes graficas solo puede haber una posición abierta (una acción en cartera), por lo que cuando hay una señal de venta, se puede comprobar que la rentabilidad se mantiene constante, ya que, en ese momento, no se tendría ninguna acción en cartera.

Acción con tendencia bajista: General Electrics ‘GE’:

Ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]



Figura 17: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics ‘GE’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

Para el caso de esta acción, con tendencia bajista, se puede comprobar que la rentabilidad anual activa no supera la rentabilidad anual pasiva, siendo en ambos casos muy parecidas y negativas. Además, se puede observar que, en este caso, se realizan 27 operaciones, que trae consigo unos costes de comisión. Por esta razón, la rentabilidad cruda (línea azul de la cuarta gráfica) es superior a la amarilla. Esto va a ocurrir en todos los casos, teniendo en cuenta que cuantas más operaciones se realicen, mayor serán las comisiones.

En este caso, el único año en el que la rentabilidad activa es positiva es en el año 2013, el resto de los años, se ve como las rentabilidades son negativas. De momento no se puede afirmar que el uso de una estrategia basada en medias sea beneficioso, ya que la rentabilidad anual activa es algo inferior a la rentabilidad anual pasiva.

Acción con tendencia lateral: Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’:

Caso: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

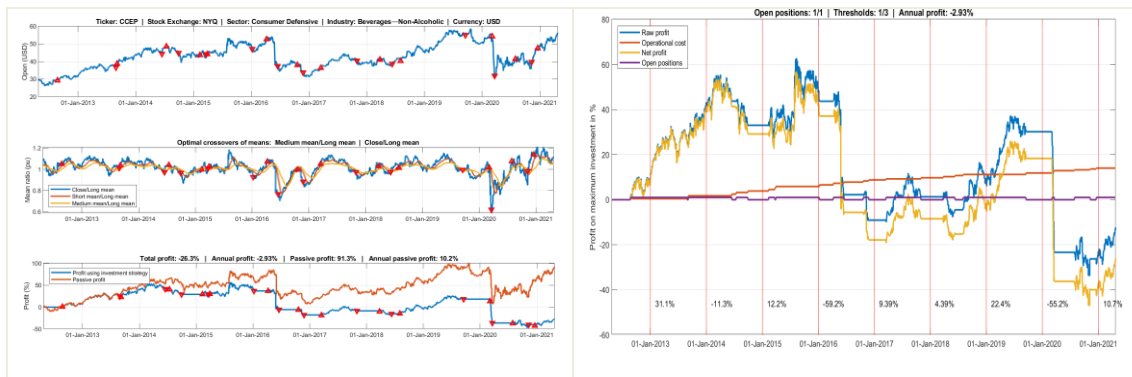


Figura 18: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner 'CEP' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

Para el caso de la acción con tendencia lateral, se puede ver en la cuarta gráfica un cambio brusco de rentabilidades, que sigue un patrón parecido al de la rentabilidad pasiva. En este caso, la rentabilidad activa anual que se consigue es muy inferior a la pasiva (-2,92% vs. 10,2%)

Acción con tendencia alcista: Abbot Laboratories 'ABT':

Caso: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

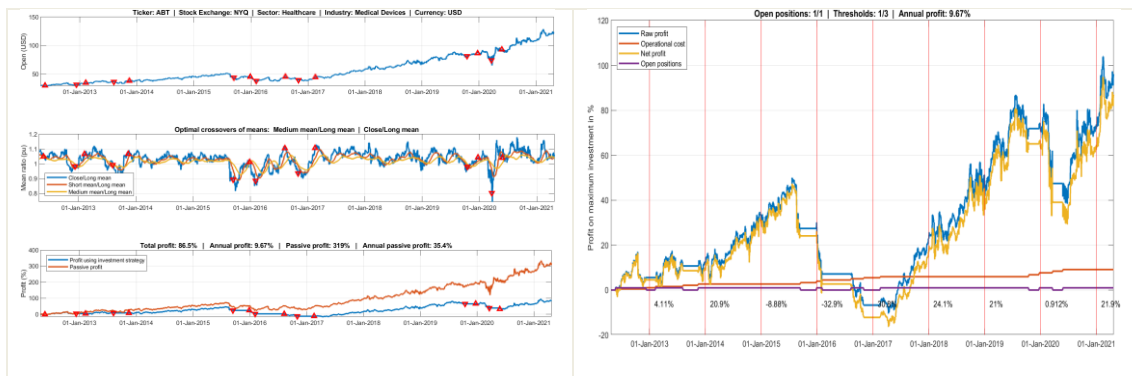


Figura 19: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories 'ABT' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

Para el caso de la acción con tendencia alcista, se puede observar algo similar al resto de casos, en el que la rentabilidad activa anual no supera a la rentabilidad pasiva anual (9,67% vs. 35,4%)

Sin embargo, como conclusión a esta sección, se puede observar que hay una relación entre las rentabilidades activas y pasivas en función de la tendencia. Es decir, cuando la tendencia

es bajista, la rentabilidad pasiva y activa son las menores de los tres casos, mientras que cuando la tendencia es alcista, la rentabilidad pasiva y activa son las mayores de los tres casos.

Es importante destacar que en esta sección se han mantenido constante los parámetros, por lo que no se tiene una visión general todavía de si el uso de la estrategia basada en medias es beneficioso o no. Por ellos, en la secciones posteriores, se va a realizar un análisis cambiando los parámetros de las medias para entender si hay algún efecto en la rentabilidad en función de la tendencia de la acción.

3.2.2 ANÁLISIS CAMBIANDO LOS PARÁMETROS

3.2.2.1 Análisis cambiando las ventanas y manteniendo las señales de compra/venta

Para cada acción, se van a analizar tres casos con los siguientes parámetros, cambiando las ventanas y manteniendo las señales de compra/venta: i) caso 1: ventana corta = 12, ventana media = 24 y ventana larga = 48, y con las señales = 1 y 3; ii) caso 2: ventana corta = 25, ventana media = 50 y ventana larga = 100, y con las señales = 1 y 3; iii) caso 3: ventana corta = 50, ventana media = 100 y ventana larga = 200, y con las señales = 1 y 3.

Acción con tendencia bajista: General Electrics ‘GE’:

Caso 1: Ventanas [12, 24, 48] y Señales [1, 3]

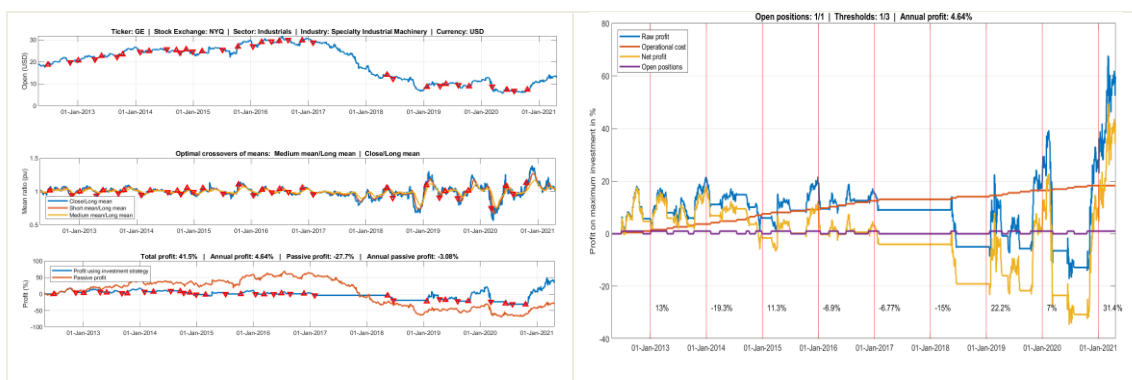


Figura 20: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics 'GE' con ventanas [12, 24, 48] y Señales [1, 3]

Caso 2: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

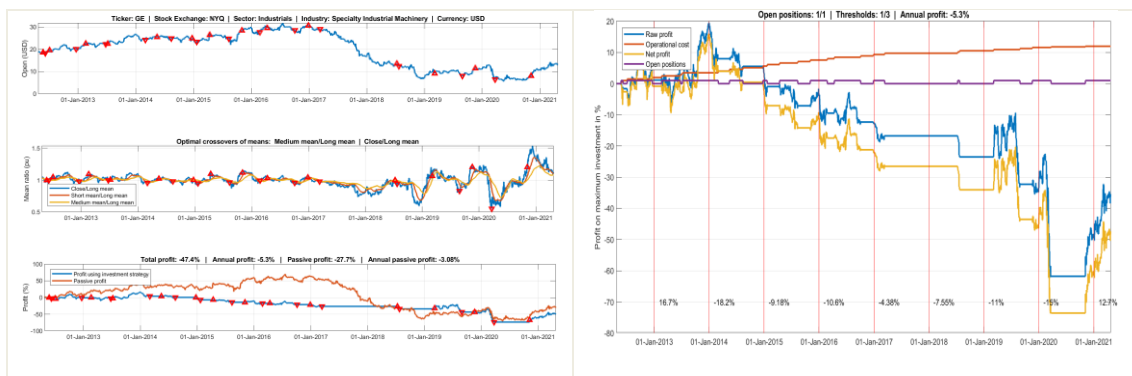


Figura 21: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics 'GE' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

Caso 3: Ventanas [50, 100, 200] y Señales [1, 3]

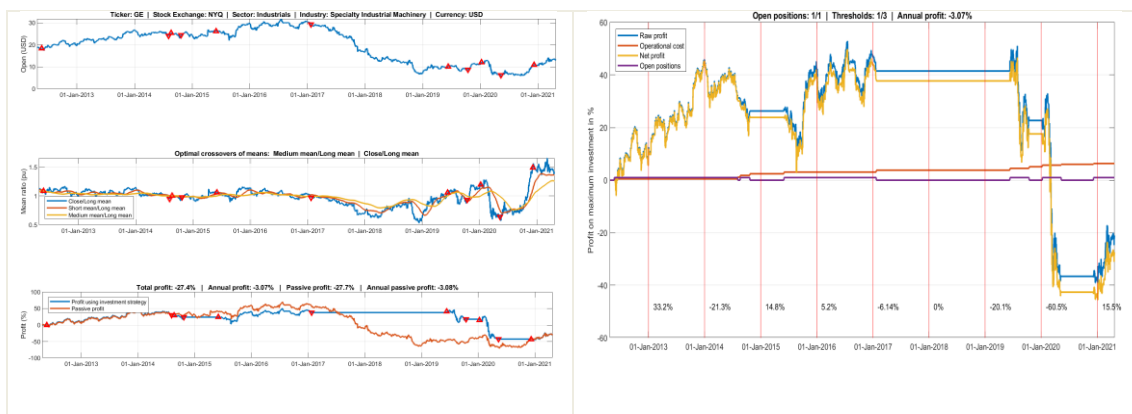


Figura 22: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics 'GE' con ventanas [50, 100, 200] y Señales [1, 3]

En las tres figuras anteriores se muestra la evolución de la rentabilidad para diferentes ventanas usadas manteniendo las mismas señales. Se pretende en este caso entender si hay algún tipo de relación entre la ventana y la rentabilidad activa para el caso de una acción con tendencia bajista.

En el primer caso, en el que se utiliza el caso de ventanas con menos días [12 24 48], se realizan 35 operaciones en total y se consigue una rentabilidad activa anual de 4,64%.

En el segundo caso, en el que se utiliza el caso de ventanas de [25 50 100], se realizan 27 operaciones en total y se consigue una rentabilidad activa anual de -5,3%

En el tercer caso, en el que se utiliza el caso de ventanas de [50 100 200], se realizan 11 operaciones en total y se consigue una rentabilidad activa anual de -3,07%.

En el caso de la tendencia bajista, se puede comprobar que la situación en la que se consigue la mejor rentabilidad anual activa es para el caso con ventanas con menos días. Esto, además, tiene lógica ya que, al tener ventanas más cortas, se realizan más operaciones, lo que hace que se aleje bastante de la estrategia pasiva, en la que se compra únicamente el primer día y se vende el último. Cuando se está realizando una inversión de una acción con tendencia bajista, lo que le interesa al inversor es alejarse de dicha tendencia, y beneficiarse de situaciones a corto plazo. Es importante tener en cuenta también, que debido a que se realiza un mayor número de operaciones, las comisiones en el caso de ventanas con menos días son mayores, sin embargo, para este caso, se puede ver claramente que aunque haya mayores comisiones, beneficia el uso de ventanas con menos días, al ser la que tiene la mayor rentabilidad.

Acción con tendencia lateral: Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’:

Caso 1: Ventanas [12, 24, 48] y Señales [1, 3]

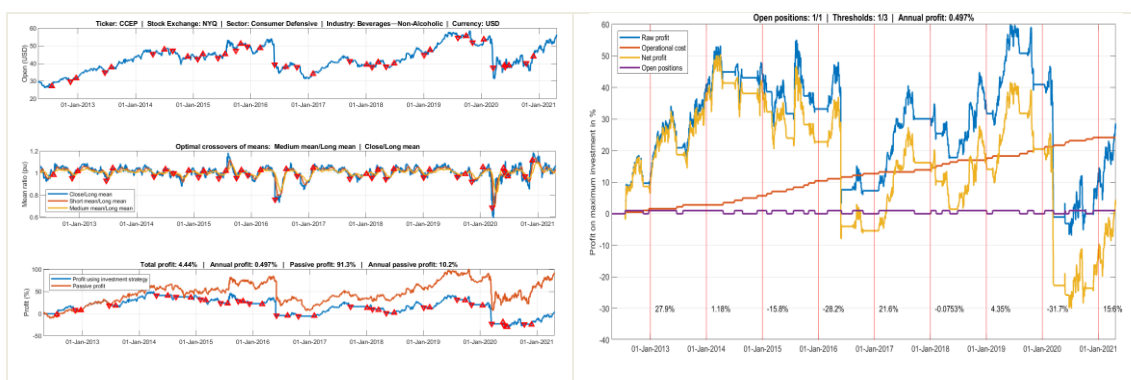


Figura 23: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner 'CCEP' con ventanas [12, 24, 48] y Señales [1, 3]

Caso 2: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

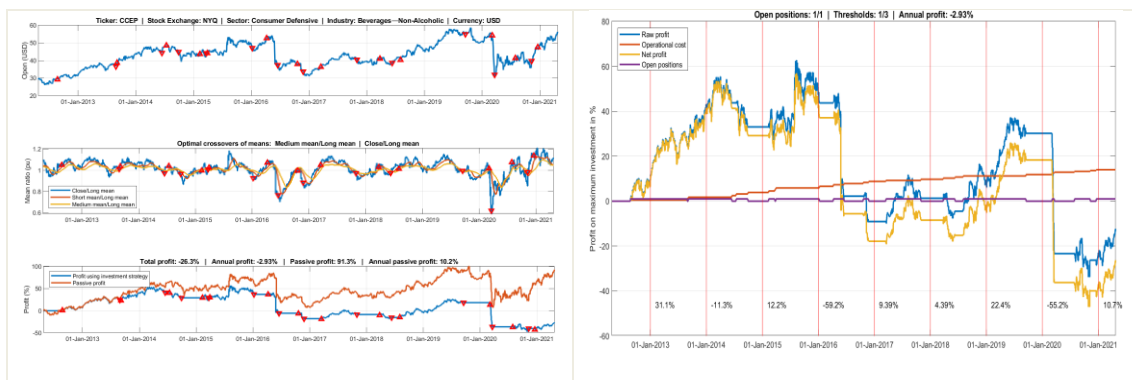


Figura 24: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner 'CCEP' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

Caso 3: Ventanas [50, 100, 200] y Señales [1, 3]

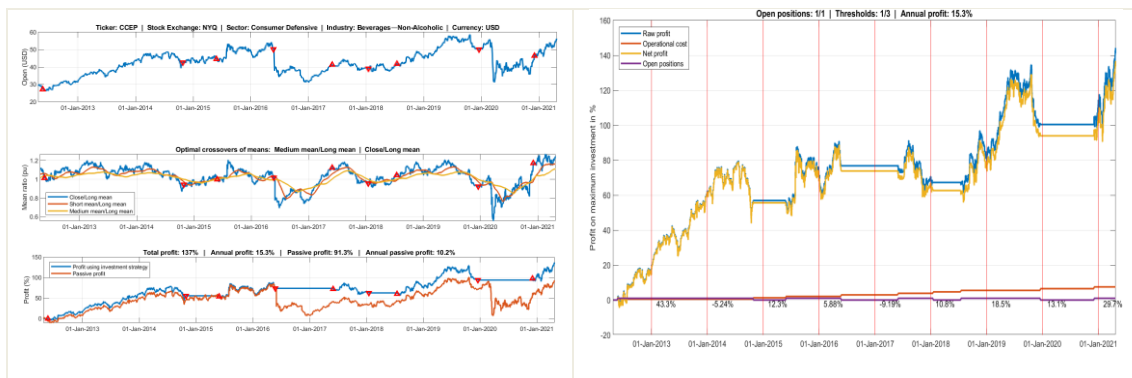


Figura 25: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner 'CCEP' con ventanas [50, 100, 200] y Señales [1, 3]

En las tres figuras anteriores se muestra la evolución de la rentabilidad para diferentes ventanas usadas manteniendo las mismas señales. Se pretende en este caso entender si hay algún tipo de relación entre la ventana y la rentabilidad activa para el caso de una acción con tendencia lateral.

En el primer caso, en el que se utiliza el caso de ventanas con menos días [12 24 48], se realizan 38 operaciones en total y se consigue una rentabilidad activa anual de 0,497%.

En el segundo caso, en el que se utiliza el caso de ventanas de [25 50 100], se realizan 24 operaciones en total y se consigue una rentabilidad activa anual de -2,93%.

En el tercer caso, en el que se utiliza el caso de ventanas de [50 100 200], se realizan 9 operaciones en total y se consigue una rentabilidad activa anual de 15,3%.

En el caso de la tendencia lateral, se puede comprobar que la situación en la que se consigue la mejor rentabilidad anual activa es para el caso con ventanas con más días. Además, no solo es el caso con mejor rentabilidad activa de los tres, sino que también se consigue superar a la rentabilidad pasiva.

Acción con tendencia alcista: Abbot Laboratories 'ABT':

Caso 1: Ventanas [12, 24, 48] y Señales [1, 3]

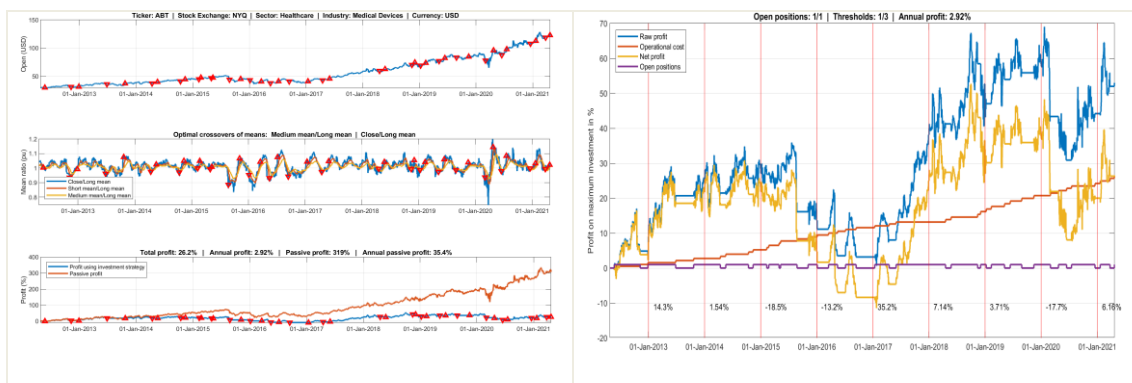


Figura 26: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories 'ABT' con ventanas [12, 24, 48] y Señales [1, 3]

Caso 2: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

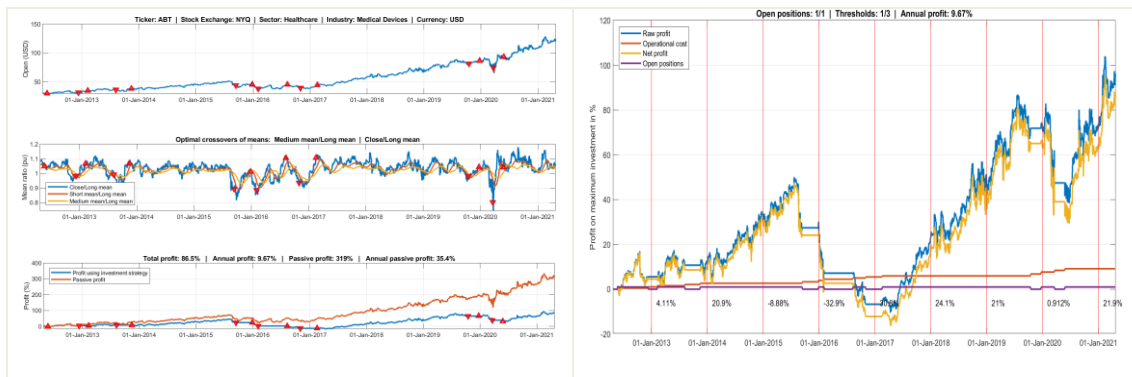


Figura 27: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories 'ABT' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

Caso 3: Ventanas [50, 100, 200] y Señales [1, 3]

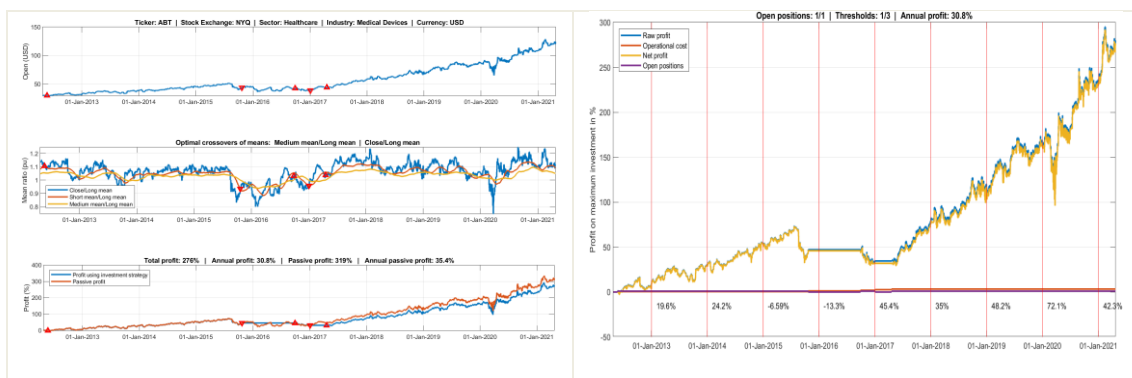


Figura 28: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories 'ABT' con ventanas [50, 100, 200] y Señales [1, 3]

En las tres figuras anteriores se muestra la evolución de la rentabilidad para diferentes ventanas usadas manteniendo las mismas señales. Se pretende en este caso entender si hay algún tipo de relación entre la ventana y la rentabilidad activa para el caso de una acción con tendencia alcista.

En el primer caso, en el que se utiliza el caso de ventanas con menos días [12 24 48], se realizan 41 operaciones en total y se consigue una rentabilidad activa anual de 2,92%.

En el segundo caso, en el que se utiliza el caso de ventanas de [25 50 100], se realizan 15 operaciones en total y se consigue una rentabilidad activa anual de 9,67%.

En el tercer caso, en el que se utiliza el caso de ventanas de [50 100 200], se realizan 5 operaciones en total y se consigue una rentabilidad activa anual de 30,8%.

En el caso de la tendencia alcista, se puede comprobar que la situación en la que se consigue la mejor rentabilidad anual activa es para el caso con ventanas con más días. Sin embargo, en este caso, aunque la rentabilidad activa anual aumenta cuando se usan más días en las ventanas, no se ha conseguido superar en ningún caso a la rentabilidad pasiva de 35,4%.

A continuación, se van a mostrar dos tablas resumen donde se puede ver las rentabilidades y el número de operaciones total en función de las ventanas y de la tendencia de la acción:

	Rent. anual pasiva	[12 24 48]	[25 50 100]	[50 100 200]
‘GE’ (tendencia bajista)	-3,08%	4,64%	-5,3%	-3,07%
‘CCEP’ (tendencia lateral)	10,2%	0,497%	-2,93%	15,3%
‘ABT’ (tendencia alcista)	35,4%	2,92%	9,67%	30,8%

Tabla 1: rentabilidades anuales activas en función de la ventana y de la tendencia de la acción

	[12 24 48]	[25 50 100]	[50 100 200]
‘GE’ (tendencia bajista)	35	27	11
‘CCEP’ (tendencia lateral)	38	24	9
‘ABT’ (tendencia alcista)	41	15	5

Tabla 2: número de operaciones en función de la ventana y de la tendencia de la acción

Tal y como se puede comprobar en la tabla 2 de arriba, para la acción con tendencia bajista, lo óptimo sería utilizar las ventanas [12 24 48], ya que es el único caso en el que, además de superar a la rentabilidad pasiva, dicha rentabilidad es positiva, por lo que se conseguiría obtener beneficios de una acción que siguiendo una estrategia pasiva se obtendrían pérdidas.

Para las acciones con tendencia lateral y alcista, la máxima rentabilidad se consigue para el caso de las ventanas con mayor número de días [50 100 200]. Sin embargo, para el caso de

la acción con tendencia lateral, dicha rentabilidad consigue superar a la rentabilidad pasiva, mientras que, para el caso de la acción con tendencia alcista, dicha rentabilidad no consigue superar a la estrategia pasiva.

Además, en la tabla 2, se puede comprobar claramente que para los tres casos, al aumentar el número de días para las ventanas, el número de operaciones disminuye

Por lo tanto, analizando únicamente para estas tres acciones, se podría concluir que:

- (i) Para la tendencia bajista, el uso de una estrategia de inversión basada en medias, con un uso de ventanas de pocos días resulta beneficioso, ya que la rentabilidad activa no solo consigue superar a la pasiva, sino que dicha rentabilidad es positiva.
- (ii) Para la tendencia lateral, el uso de una estrategia de inversión basada en medias, con un uso de ventanas de muchos días, resulta beneficioso, ya que la rentabilidad activa consigue superar a la rentabilidad pasiva.
- (iii) Para la tendencia alcista, el uso de una estrategia de inversión basada en medias no resulta beneficioso, ya que la rentabilidad pasiva es superior a la rentabilidad activa.

3.2.2.2 Análisis cambiando las señales de compra/venta y manteniendo las ventanas

Para cada acción, se van a analizar seis casos con los siguientes parámetros, cambiando las señales de compra/venta y manteniendo las ventanas: i) caso 1: ventana corta = 25, ventana media = 50 y ventana larga = 100, y con las señales = 1 y 1; ii) caso 2: ventana corta = 25, ventana media = 50 y ventana larga = 100, y con las señales = 1 y 2; iii) caso 3: ventana corta = 25, ventana media = 50 y ventana larga = 100, y con las señales = 1 y 3; iv) caso 4: ventana corta = 25, ventana media = 50 y ventana larga = 100, y con las señales = 2 y 2; v) caso 5: ventana corta = 25, ventana media = 50 y ventana larga = 100, y con señales = 2 y 3; vi) caso 6: ventana corta = 25, ventana media = 50 y ventana larga = 100, y con señales = 3 y 3.

Acción con tendencia bajista: General Electric 'GE':

Caso 1: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 1]



Figura 29: Precio, señales y rentabilidades de General Electric 'GE' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 1]

Caso 2: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 2]

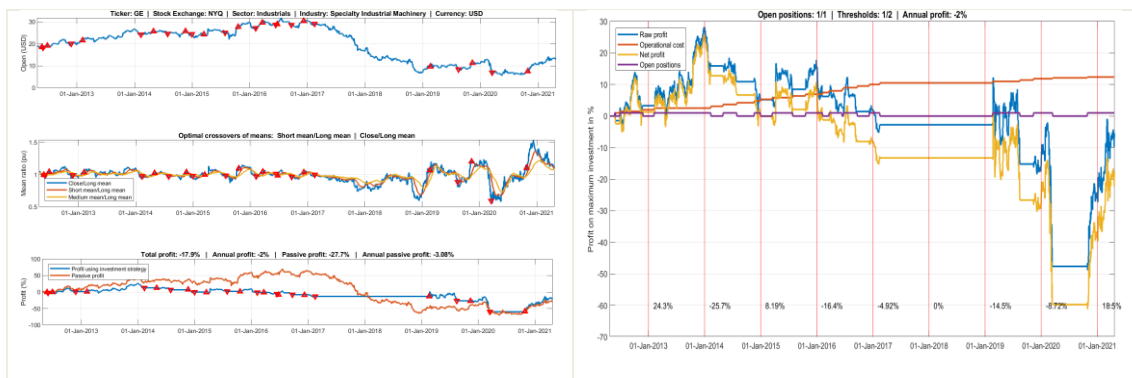


Figura 30: Precio, señales y rentabilidades de General Electric 'GE' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 2]

Caso 3: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

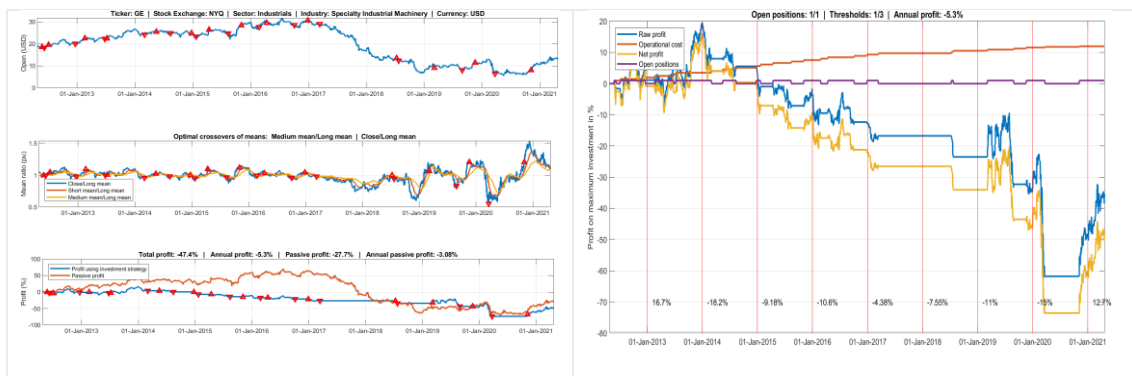


Figura 31: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics 'GE' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

Caso 4: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 2]

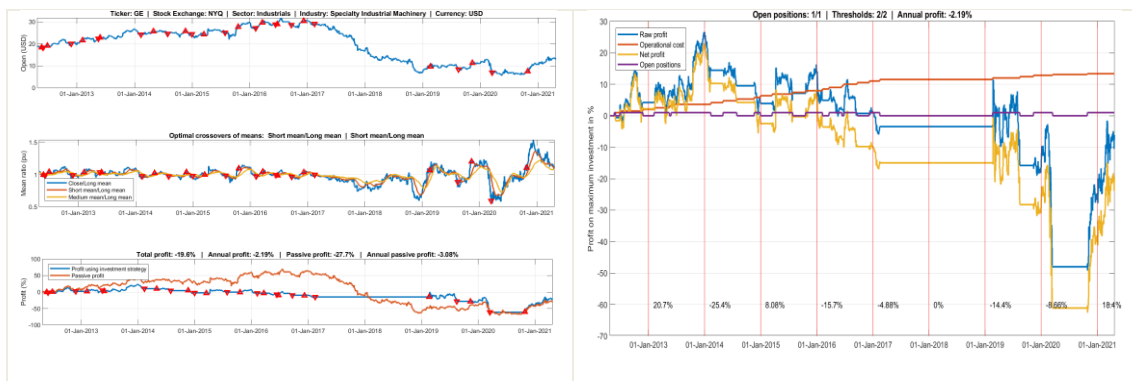


Figura 32: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics 'GE' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 2]

Caso 5: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 3]

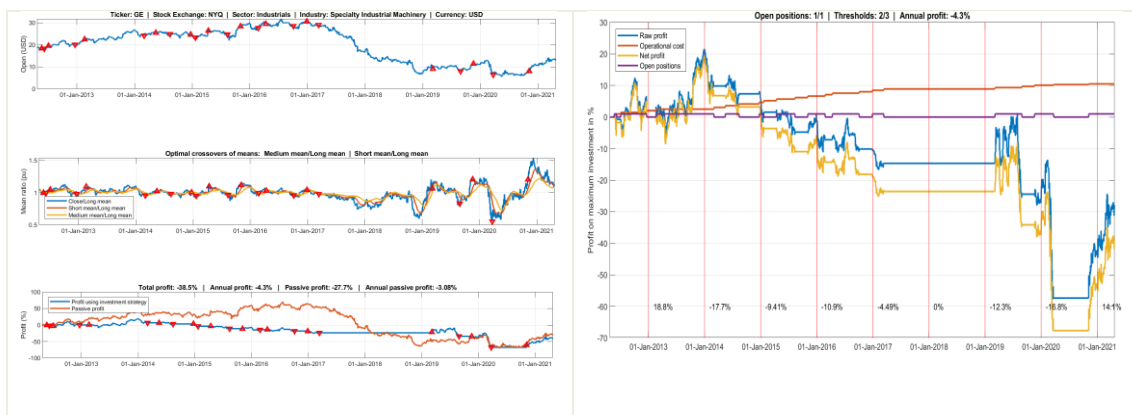


Figura 33: Precio, señales y rentabilidades de General Electrics 'GE' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 3]

Caso 6: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [3, 3]

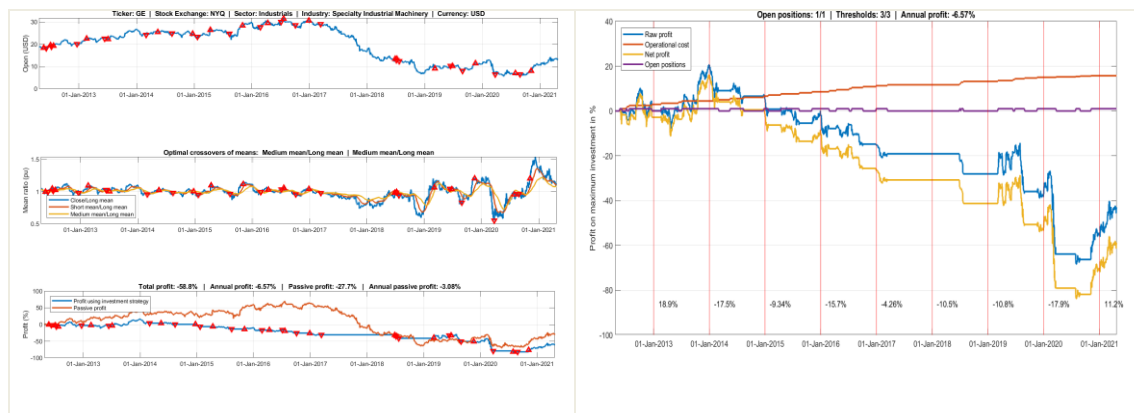


Figura 34: Precio, señales y rentabilidades de General Electric 'GE' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [3, 3]

En las seis figuras anteriores se muestra la evolución de la rentabilidad para diferentes señales de compra/venta manteniendo las mismas ventanas. Se pretende en este caso entender si hay algún tipo de relación entre los tipos de señales y la rentabilidad activa para el caso de una acción con tendencia bajista.

En el primer caso, en el que se utiliza únicamente la señal 1 (p_c/p_{mvl}), se consigue una rentabilidad de -3,55% realizando 95 operaciones.

En el segundo caso, en el que se utiliza tanto la señal 1 (p_c/p_{mvl}), como la 2 (p_{mvc}/p_{mvl}) se consigue una rentabilidad de -2% realizando 25 operaciones.

En el tercer caso, en el que se utiliza tanto la señal 1 (p_c/p_{mvl}), como la 3 (p_{mvi}/p_{mvl}) se consigue una rentabilidad de -5,3% realizando 27 operaciones.

En el cuarto caso, en el que se utiliza únicamente la señal 2 (p_{mvc}/p_{mvl}), se consigue una rentabilidad de -2,19% realizando 27 operaciones.

En el quinto caso, en el que se utiliza tanto la señal 2 (p_{mvc}/p_{mvl}) como la 3 (p_{mvi}/p_{mvl}), se consigue una rentabilidad de -4,3% realizando 23 operaciones.

En el sexto caso, en el que se utiliza únicamente la señal 3 (p_{mvi}/p_{mvl}), se consigue una rentabilidad de -6,57% realizando 37 operaciones.

En el caso de la tendencia bajista, no hay un claro patrón que indique que una determinada señal produce una rentabilidad superior a las otras. Se ve que el caso óptimo en este caso, sería el uso de las señales 1 (p_c/p_{mvl}) y 2 (p_{mvc}/p_{mvl}) a la vez. Sin embargo, en este caso,

aunque la rentabilidad activa mejora frente a la pasiva, esta sigue siendo negativa, por lo que no se recomendaría el uso de la estrategia de inversión.

Por otra parte, cabe destacar que el caso en el que se realiza un mayor número de operaciones es para el caso donde únicamente se utiliza la señal 1 (p_c/p_{mvl}).

Acción con tendencia lateral: Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’:

Caso 1: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 1]

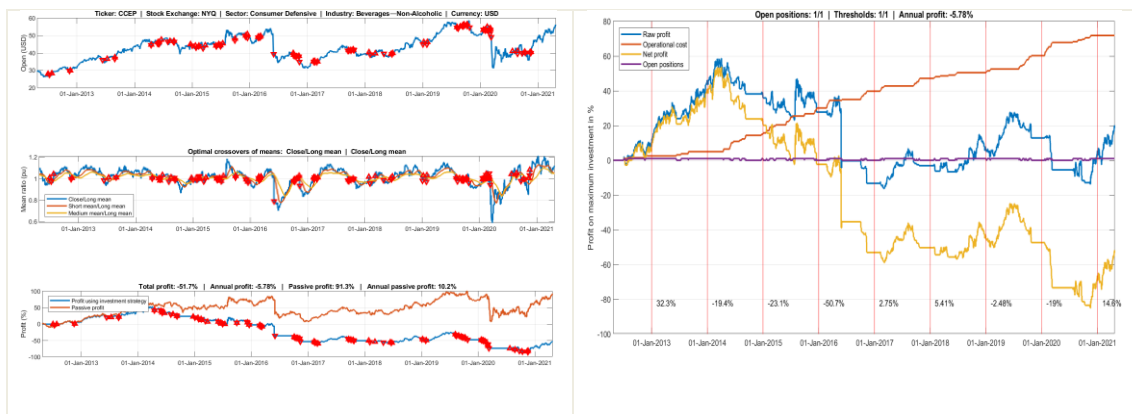


Figura 35: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 1]

Caso 2: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 2]

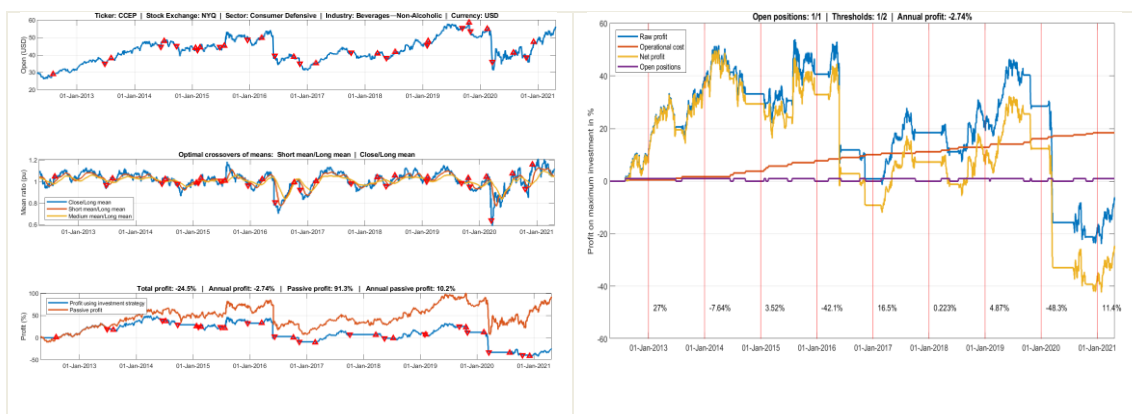


Figura 36: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner ‘CCEP’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 2]

Caso 3: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]



Figura 37: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner 'CCEP' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

Caso 4: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 2]

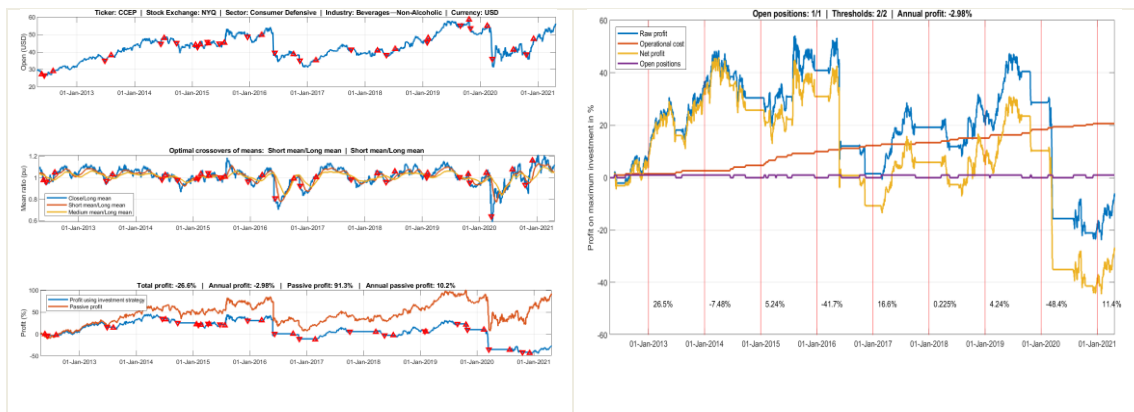


Figura 38: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner 'CCEP' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 2]

Caso 5: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 3]

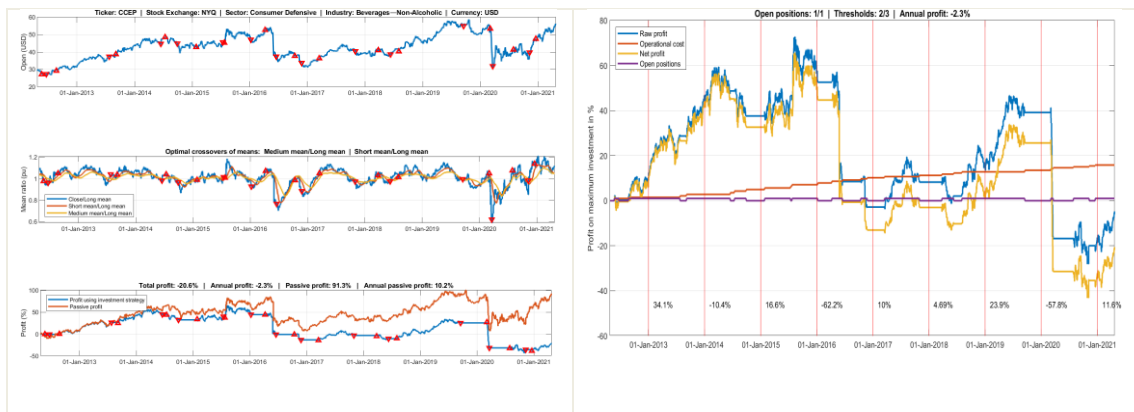


Figura 39: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner 'CCEP' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 3]

Caso 6: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [3, 3]



Figura 40: Precio, señales y rentabilidades de Coca-Cola Europacific Partner 'CCEP' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [3, 3]

En las seis figuras anteriores se muestra la evolución de la rentabilidad para diferentes señales de compra/venta manteniendo las mismas ventanas. Se pretende en este caso entender si hay algún tipo de relación entre los tipos de señales y la rentabilidad activa para el caso de una acción con tendencia lateral.

En el primer caso, en el que se utiliza únicamente la señal 1 (p_c/p_{mvl}), se consigue una rentabilidad de -5,78% realizando 126 operaciones.

En el segundo caso, en el que se utiliza tanto la señal 1 (p_c/p_{mvl}), como la 2 (p_{mvc}/p_{mvl}) se consigue una rentabilidad de -2,74% realizando 31 operaciones.

En el tercer caso, en el que se utiliza tanto la señal 1 (p_c/p_{mvl}), como la 3 (p_{mvi}/p_{mvl}) se consigue una rentabilidad de -2,93% realizando 25 operaciones.

En el cuarto caso, en el que se utiliza únicamente la señal 2 (p_{mvc}/p_{mvl}), se consigue una rentabilidad de -2,98% realizando 35 operaciones.

En el quinto caso, en el que se utiliza tanto la señal 2 (p_{mvc}/p_{mvl}) como la 3 (p_{mvi}/p_{mvl}), se consigue una rentabilidad de -2,3% realizando 27 operaciones.

En el sexto caso, en el que se utiliza únicamente la señal 3 (p_{mvi}/p_{mvl}), se consigue una rentabilidad de -4,42% realizando 33 operaciones.

Tal y como ocurría con el caso de tendencia bajista, en el caso de tendencia lateral no hay un claro patrón que indique que una determinada señal produce una rentabilidad superior a las otras. Sin embargo, también se puede afirmar para este caso, que el caso en el que se realiza un mayor número de operaciones es para el caso donde únicamente se utiliza la señal 1 (p_c/p_{mv1}).

Acción con tendencia alcista: Abbot Laboratories ‘ABT’:

Caso 1: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 1]

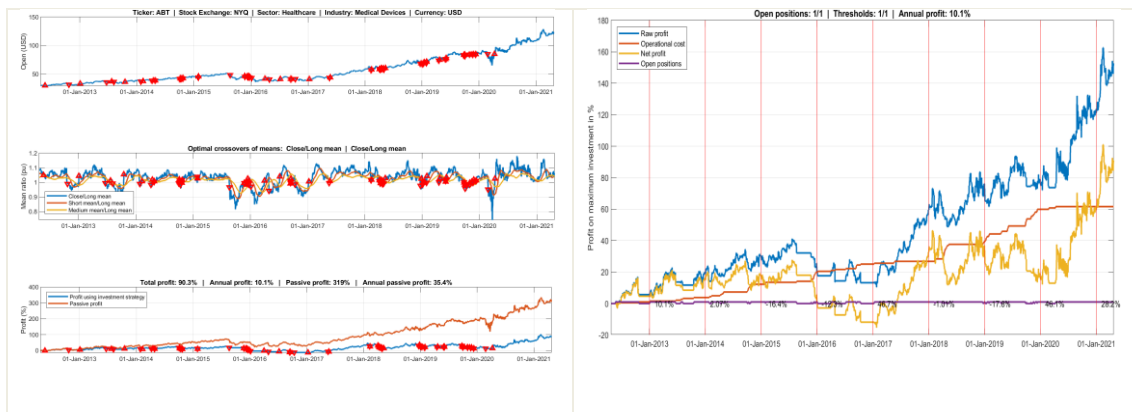


Figura 41: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories ‘ABT’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 1]

Caso 2: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 2]

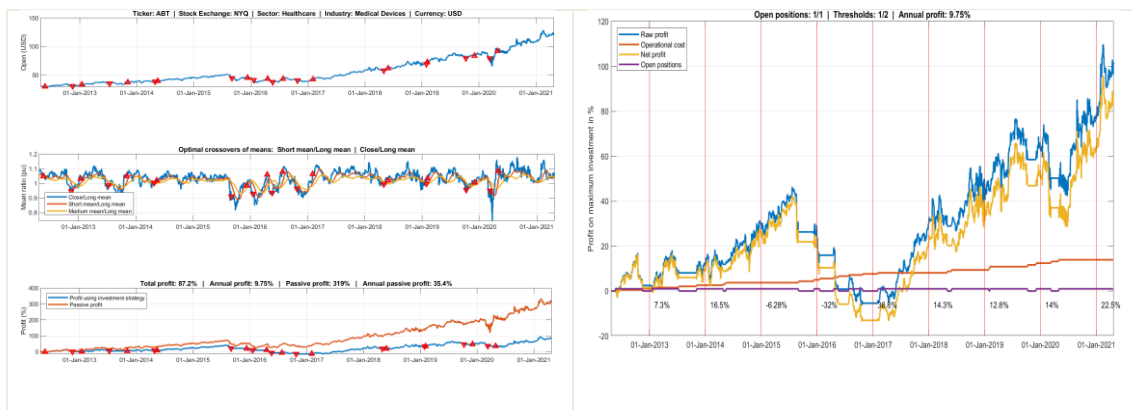


Figura 42: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories ‘ABT’ con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 2]

Caso 3: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

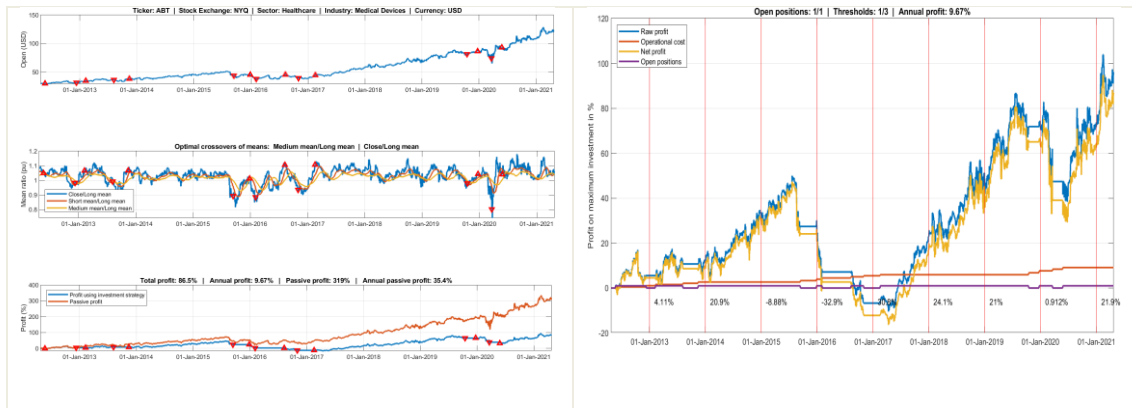


Figura 43: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories 'ABT' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [1, 3]

Caso 4: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 2]

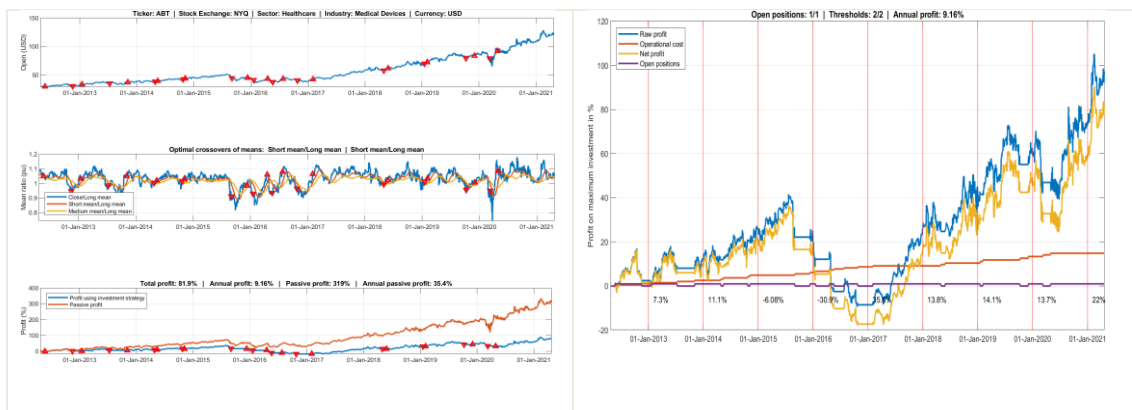


Figura 44: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories 'ABT' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 2]

Caso 5: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 3]

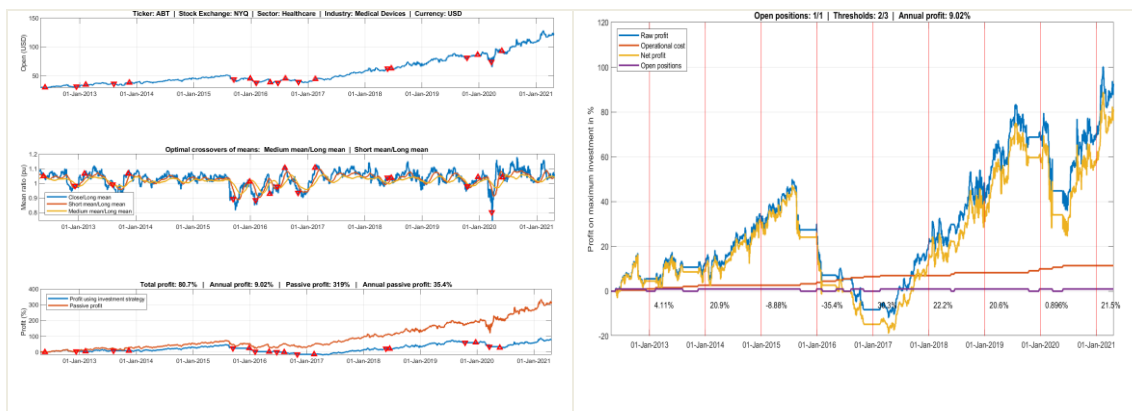


Figura 45: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories 'ABT' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [2, 3]

Caso 6: Ventanas [25, 50, 100] y Señales [3, 3]

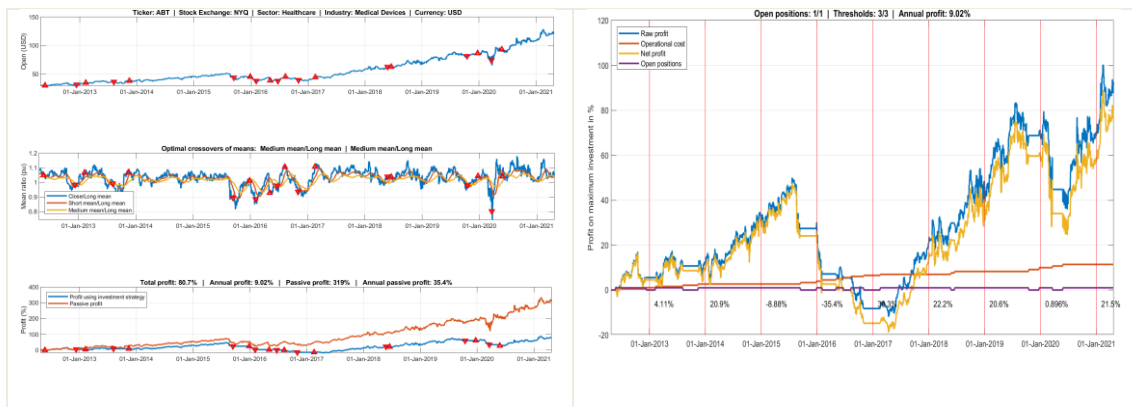


Figura 46: Precio, señales y rentabilidades de Abbot Laboratories 'ABT' con ventanas [25, 50, 100] y Señales [3, 3]

En las seis figuras anteriores se muestra la evolución de la rentabilidad para diferentes señales de compra/venta manteniendo las mismas ventanas. Se pretende en este caso entender si hay algún tipo de relación entre los tipos de señales y la rentabilidad activa para el caso de una acción con tendencia alcista.

En el primer caso, en el que se utiliza únicamente la señal 1 (p_c/p_{mv}), se consigue una rentabilidad de 10,1% realizando 87 operaciones.

En el segundo caso, en el que se utiliza tanto la señal 1 (p_c/p_{mv}), como la 2 (p_{mv}/p_{mv}) se consigue una rentabilidad de 9,75% realizando 23 operaciones.

En el tercer caso, en el que se utiliza tanto la señal 1 (p_c/p_{mvl}), como la 3 (p_{mvi}/p_{mvl}) se consigue una rentabilidad de 9,67% realizando 15 operaciones.

En el cuarto caso, en el que se utiliza únicamente la señal 2 (p_{mvc}/p_{mvl}), se consigue una rentabilidad de 9,16% realizando 25 operaciones.

En el quinto caso, en el que se utiliza tanto la señal 2 (p_{mvc}/p_{mvl}) como la 3 (p_{mvi}/p_{mvl}), se consigue una rentabilidad de 9,02% realizando 19 operaciones.

En el sexto caso, en el que se utiliza únicamente la señal 3 (p_{mvi}/p_{mvl}), se consigue una rentabilidad de 9,02% realizando 19 operaciones.

Tal y como ocurría con los casos anteriores, en el caso de tendencia alcista no hay un claro patrón que indique que una determinada señal produce una rentabilidad superior a las otras. Sin embargo, también se puede afirmar para este caso, que el caso en el que se realiza un mayor número de operaciones es para el caso donde únicamente se utiliza la señal 1 (p_c/p_{mvl}).

A continuación, se van a mostrar dos tablas resumen donde se puede ver las rentabilidades y el número de operaciones total en función de los tipos de señales y de la tendencia de la acción:

	Rent. anual pasiva	Señal 1	Señal 1/2	Señal 1/3	Señal 2	Señal 2/3	Señal 3
‘GE’ (tendencia bajista)	-3,08%	-3,55%	-2%	-5,3%	-2,19%	-4,3%	-6,57%
‘CCEP’ (tendencia lateral)	10,2%	-5,78%	-2,74%	-2,93%	-2,98%	-2,3%	-4,42%
‘ABT’ (tendencia alcista)	35,4%	10,1%	9,75%	9,67%	9,16%	9,02%	9,02%

Tabla 3: rentabilidades anuales activas en función del tipo de señal y de la tendencia de la acción

	Señal 1	Señal 1/2	Señal 1/3	Señal 2	Señal 2/3	Señal 3
‘GE’ (tendencia bajista)	95	25	27	27	23	37
‘CCEP’ (tendencia lateral)	126	31	25	35	27	33
‘ABT’ (tendencia alcista)	87	23	15	25	19	19

Tabla 4: número de operaciones en función del tipo de señal y de la tendencia de la acción

Tal y como se puede comprobar en la tabla resumen de arriba, no se distingue ningún patrón para las rentabilidades en función del tipo de señal.

3.3 CONCLUSIONES

Cabe destacar que estas conclusiones son preliminares, ya que se ha analizado únicamente para tres acciones en concreto, por lo que esto podría cambiar en el capítulo 4, que es en el que se realiza un análisis en conjunto de la optimización de todos los valores.

A la vista de los resultados, se puede concluir:

1. La rentabilidad activa y pasiva guardan una relación en función de la tendencia. Es decir, cuando la tendencia es bajista, la rentabilidad activa y pasiva van a ser más bajas que cuando la tendencia es alcista.
2. Se puede concluir que el parámetro de las ventanas parece que tiene un efecto en la rentabilidad, en función de la tendencia de la acción. Es decir, que, para acciones con tendencia bajista, lo bueno sería el uso de ventanas con pocos días, mientras que para acciones con tendencia lateral/alcista, lo óptimo sería el uso de ventanas con un mayor número de días. Además, cuantos menos días se usen en las ventanas, mayor número de operaciones se realizarán.

3. Sin embargo, no parece haber un claro patrón al cambiar los tipos de señales en la rentabilidad de la acción. En cuanto al número de operaciones, parece que el uso de la señal 1 ($p_c/p_m \vee 1$) es el caso en el que se da mayor número de operaciones para las tres tendencias.

Capítulo 4. OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRATEGIA

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se va a realizar un análisis profundo del impacto que tienen diferentes variables entre ellas. Para ello se ha utilizado Matlab, en la que se han generado diferentes gráficas: de correlación (entre variables continuas), de cajas (entre variables continuas y discretas o variables continuas y continuas discretizadas)

4.2 MÉTODO QUE SE HA UTILIZADO

Para poder analizar la relación entre diferentes variables, lo primero que se ha hecho ha sido obtener 6 matrices diferentes, que se explicarán más adelante. Estas 6 matrices tienen una estructura común:

- Cuentan con 2.604 filas, que corresponden a una acción diferente pertenecientes a la bolsa de Estados Unidos cogiendo datos de los últimos 9 años
- Cuenta con 12 columnas que representan lo siguiente:
 1. Ventana corta para el cálculo de la media
 2. Ventana intermedia para el cálculo de la media
 3. Ventana larga para el cálculo de la media
 4. Señal de compra/venta
 5. Señal de compra/venta
 6. Número de operaciones medio anual
 7. Rentabilidad sin tener en cuenta las comisiones
 8. Comisiones
 9. Rentabilidad activa
 10. Rentabilidad activa anual
 11. Rentabilidad pasiva

12. Rentabilidad pasiva anual

Esto representa la estructura de una matriz. Para realizar el análisis se han realizado diferentes gráficas en función de las variables:

- Variables continuas:
 1. Rentabilidad activa anual (columna 10)
 2. Rentabilidad pasiva anual (columna 11)
 3. Número de operaciones (columna 6)
- Variables discretas (tanto para el caso de sector como de industria, se han analizado los 10 sectores o industrias que tengan un mayor número de acciones):
 1. Mercado: Nasdaq (representado por el índice NMS) y NYSE (representado por el índice NYQ).
 2. Sector: puede tomar 10 valores: salud, tecnología, industrial, servicios financieros, consumo cíclico, real estate, servicios de comunicación, energía, materiales, consumo anticíclico.
 3. Industria: puede tomar 10 valores: biotecnología, software-aplicaciones, bancos-regionales, software-infraestructura, diagnóstico-investigación, farmacéuticas, semiconductores, dispositivos médicos, maquinaria industrial y gestión de activos.
 4. Tipo de señal: puede tomar los siguientes valores:
 - Señal 1: cociente entre el precio de cierre y el precio medio de la ventana larga (p_c/p_{mvl}).
 - Señal 2: cociente entre el precio medio de la ventana corta y el precio medio de la ventana larga (p_{mvc}/p_{mvl}).
 - Señal 3: cociente entre el precio medio de la ventana intermedia y el precio medio de la ventana larga (p_{mvi}/p_{mvl}).
 - Señal 4: cociente entre el precio de cierre y el precio medio de la ventana corta (p_c/p_{mvc}).
 - Señal 5: cociente entre el precio de cierre y el precio medio de la ventana intermedia (p_c/p_{mvi}).

- Señal 6: cociente entre el precio medio de la ventana corta y el precio medio de la ventana intermedia (p_{mvc}/p_{mvi}).
Se puede tener a la vez 1 o 2 señales, por eso en la matriz hay dos columnas. Si las dos columnas toman el mismo valor, por ejemplo, señal 1, significaría que cuando la señal 1 (p_c/p_{mvl}) sea mayor que uno, sería una señal de compra, y cuando sea menor que 1, sería una señal de venta. Sin embargo, en el caso en el que las columnas de la matriz tomen valores distintos, por ejemplo la columna 4 tenga un 1 (p_c/p_{mvl}) y la columna 5 tenga un 2 (p_{mvc}/p_{mvl}), significa que ambas señales tienen que ser mayor que 1 para que se de una señal de compra y menor que uno para que se de una señal de venta.

Para las variables continuas discretizadas, se ha dividido en 5 grupos cada variable en función del percentil (0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100).

4.3 DIFERENTES CASOS DE OPTIMIZACIÓN

Los diferentes casos de optimización que han realizado son los siguientes: (i) Optimización global para todos los valores, comparando además el caso de con y sin reinversión, (ii) Optimización individual para todos los valores, comparando además el caso con y sin reinversión, (iii) Persistencia de la optimización en el tiempo, de forma global e individual. Con esto se sacan 6 matrices en total que se han analizado:

1. Matriz de optimización común sin reinversión
2. Matriz de optimización común con reinversión
3. Matriz de optimización individual sin reinversión
4. Matriz de optimización individual con reinversión
5. Matriz optimización común de los primeros 5 años y comprobación de los resultados los siguientes 4 años
6. Matriz optimización individual de los primeros 5 años y comprobación de los resultados los siguientes 4 años

4.3.1 OPTIMIZACIÓN GLOBAL PARA TODOS LOS VALORES

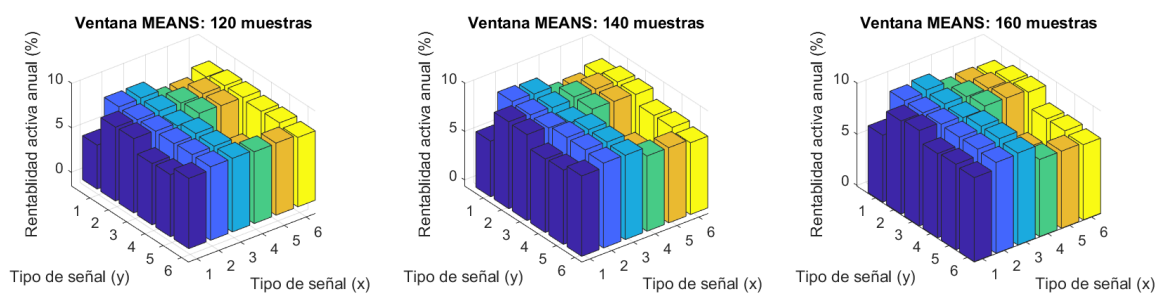
En este caso se va a partir de una matriz optimizada de forma global. Esto quiere decir, que se va a analizar cuál es la rentabilidad activa media de todas las acciones en su conjunto en función de los diferentes parámetros. Los parámetros óptimos serán los que maximicen dicha rentabilidad media. En este capítulo se pretende realizar un análisis para ver si se puede encontrar algún tipo de relación entre las diferentes variables.

4.3.1.1 Análisis inicial para la decisión de los parámetros

En esta sección se van a analizar distintas combinaciones de parámetros para ver cuál es la combinación óptima, es decir la que de la rentabilidad más alta, teniendo en cuenta, que al menos haya una operación media anual para que no sea una estrategia demasiado similar a la pasiva. Esta combinación óptima se realiza de forma común. Es decir, se trata de buscar una única combinación de parámetros que haga que la rentabilidad activa media de todas las acciones sea la más alta posible. Para ello, la matriz que se ha utilizado es sin reinversión.

Para dicho análisis, se han realizado dos tipos de figuras, en función de la ventana larga, y las señales de compra / venta. La primera figura trata de analizar la rentabilidad activa en función de dichos parámetros y la segunda figura trata de analizar el número de operaciones en función de los mismos parámetros.

Análisis en función de la rentabilidad activa:



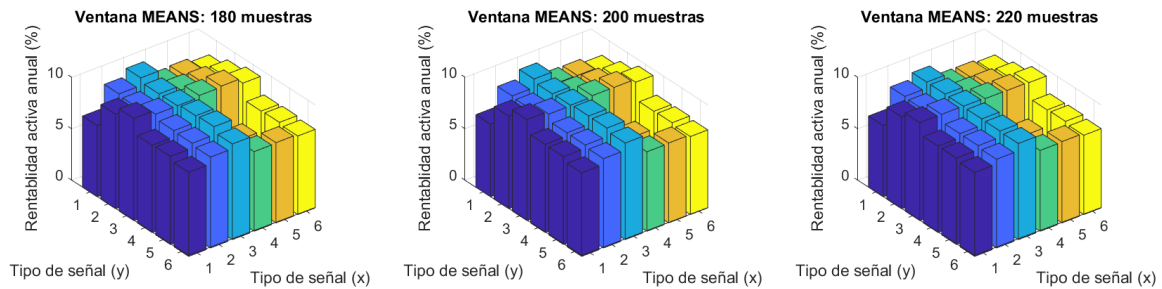
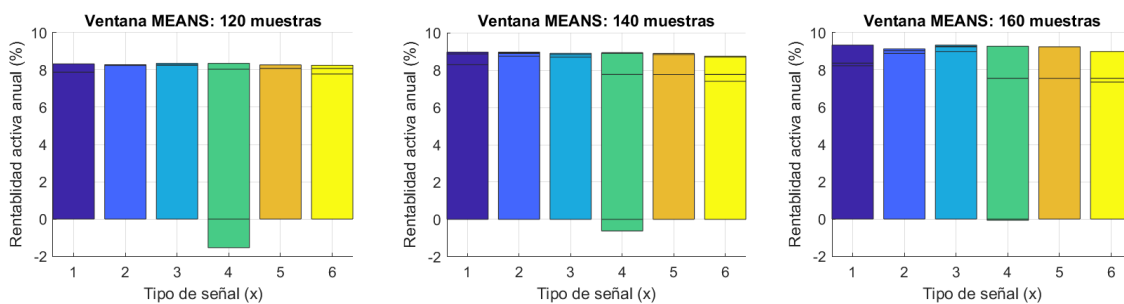


Figura 47: Análisis de la rentabilidad activa en función de las ventanas y el tipo de señal (3D)

En la Figura 47 se puede comprobar que el comportamiento de la rentabilidad activa sigue un patrón parecido para todas las ventanas, siendo el óptimo para las señales 1 y 3 y para la ventana larga de 180 días. Es decir, los óptimos comunes serían ventana corta de 45 días, venta media de 90 días y ventana larga de 180 días. Las señales óptimas serían la 1 y la 3, es decir (1) el cociente entre el precio de cierre y el precio medio de la ventana larga, p/p_{mvl} , y (3) el cociente entre el precio medio de la ventana intermedia y el precio medio de la ventana larga, p_{mvi}/p_{mvl} . Para ver esto de mejor forma se van a girar las gráficas:



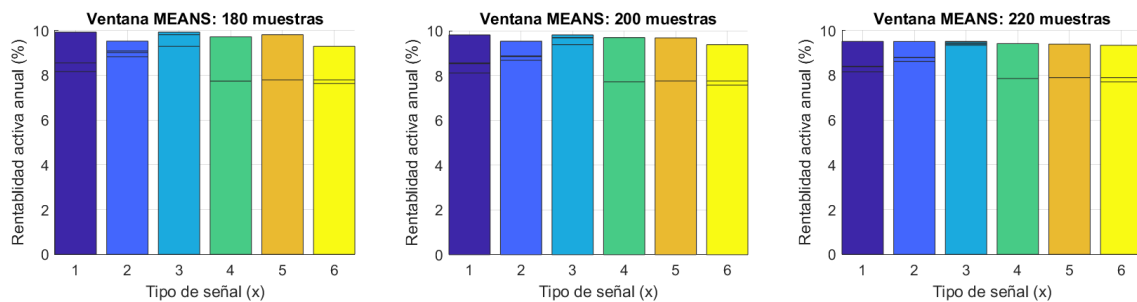


Figura 48: Análisis de la rentabilidad activa en función de las ventanas y el tipo de señal (2D)

Se puede comprobar en la Figura 48, con la vista en 2D que la rentabilidad anual activa más alta se consigue en el caso de la ventana larga de 180 días. El número exacto aparece en la siguiente matriz, que corresponde a la columna 3, fila 8. Es decir, se consigue una rentabilidad de 9,9274%.

```
val(:, :, 1) =
```

0.2577	7.4629	7.6457	2.4002	2.7923	5.7420
2.5721	8.4471	8.3029	4.5700	4.9993	7.2459
3.1060	7.8698	7.6065	5.3662	5.6431	7.3249
3.8663	8.0234	7.8168	5.9971	6.0471	7.5167
4.9167	8.2744	8.3192	6.8650	6.9530	7.8734
5.7349	8.9658	8.8685	7.5842	7.6719	8.2920
6.5347	9.0972	9.3272	8.2408	8.3591	8.2185
6.9198	9.1819	9.9274	8.4769	8.5523	8.1622
7.0539	8.9853	9.8170	8.5643	8.5345	8.1145
6.9208	8.9316	9.5141	8.4030	8.3836	8.1509
6.8688	8.8430	9.3671	8.4683	8.4859	8.2844
6.7201	8.6873	9.0939	8.2555	8.2775	8.3344
6.7160	8.5179	8.7587	8.1374	8.2541	8.2649
6.3217	7.9746	7.9020	7.8299	7.9345	7.9669

Figura 49: Matriz de rentabilidades

Adicionalmente se puede comprobar como las ventanas largas con menos días (120 y 140) son las que dan una rentabilidad menor.

Por último, se va a realizar el mismo tipo de análisis, pero con el número medio de operaciones anuales para comprobar que la combinación óptima que se ha calculado anteriormente tenga al menos una operación de media anual:

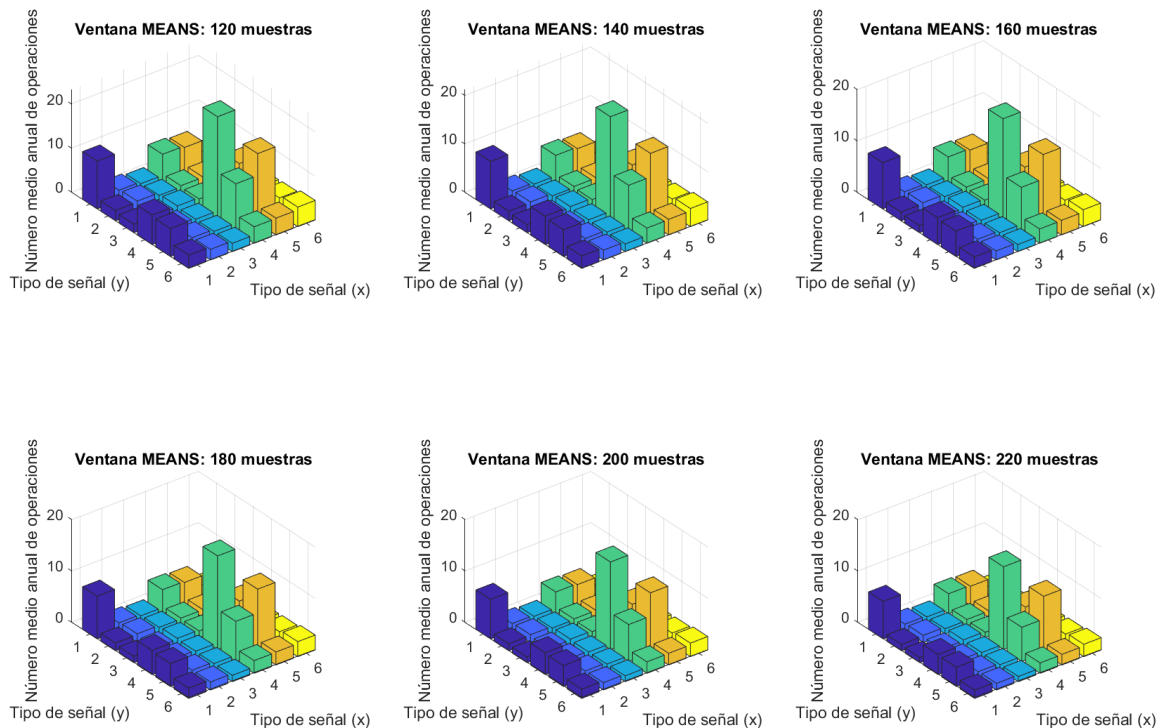


Figura 50: Análisis del número de operaciones en función de las ventanas y el tipo de señal

En este caso se puede ver que en muchos casos, cuando el número de operaciones aumenta, la rentabilidad activa disminuye. El caso óptimo calculado anteriormente, tiene un número de operaciones bastante bajo, por lo que se va a comprobar en la siguiente matriz, el número real para ver que no sea menor que 1. En el caso óptimo anterior se puede ver que el número de operaciones es de 1.2, por lo que se considera válido.

```
val(:, :, 1) =
```

20.2953	7.0587	5.9072	16.0886	15.0564	8.8954
16.0211	4.6558	3.8960	11.7407	10.9958	5.9742
13.6603	3.5019	2.9195	9.3239	8.7802	4.5186
12.0480	2.8034	2.3484	7.7907	7.3796	3.6067
10.8404	2.3351	1.9344	6.6942	6.3440	3.0106
9.8180	1.9769	1.6520	5.8855	5.5451	2.5579
9.0024	1.6953	1.4115	5.2302	4.9444	2.2265
8.3044	1.5047	1.2395	4.6915	4.4657	1.9946
7.6862	1.3501	1.1285	4.2459	4.0583	1.7926
7.2958	1.2376	1.0166	3.9051	3.7369	1.6170
6.9804	1.1159	0.9437	3.6255	3.4753	1.4647
6.6635	1.0442	0.8867	3.3875	3.2799	1.3449
6.3007	0.9551	0.8066	3.1547	3.0473	1.2531
6.0407	0.8988	0.7634	2.9594	2.8642	1.1549

Figura 51: Matriz de número de operaciones

Por lo tanto, para los análisis que se van a realizar de forma global se van a usar los siguientes parámetros óptimos:

- Ventana corta / ventana intermedia / ventana larga: 45 / 90 / 180
- Señales óptimas de compra y venta: (1) el cociente entre el precio de cierre y el precio medio de la ventana larga, p_c/p_{mvl} , y (3) el cociente entre el precio medio de la ventana intermedia y el precio medio de la ventana larga, p_{mvi}/p_{mvl} .

4.3.1.2 Análisis en función de si hay reinversión o no

A continuación, se va a analizar qué genera más rentabilidad, si la retirada de los beneficios y la reposición de las pérdidas en cada operación o la reinversión de los beneficios y el mantenimiento de las pérdidas. Para ello, se ha calculado cuál es la media de la rentabilidad activa para cada caso y en qué porcentaje de veces, la rentabilidad activa con reinversión es superior a la rentabilidad activa sin reinversión:

	Estrategia	
	Sin reinversión	Con reinversión
% de máximos de la rentabilidad activa	61,54%	38,46%

Media de la rentabilidad activa	9,61%	8,99%
---------------------------------	-------	-------

Tabla 5: Porcentaje de máximos de la rentabilidad activa y Media de la rentabilidad activa según la estrategia utilizada (sin inversión o con inversión)

Como se puede observar en la tabla la estrategia sin reinversión es mejor que la estrategia con reinversión, 9,61% frente a 8,99% en media de rentabilidad la activa y 61,54% frente a 38,46% en porcentaje de máximos de la rentabilidad activa.

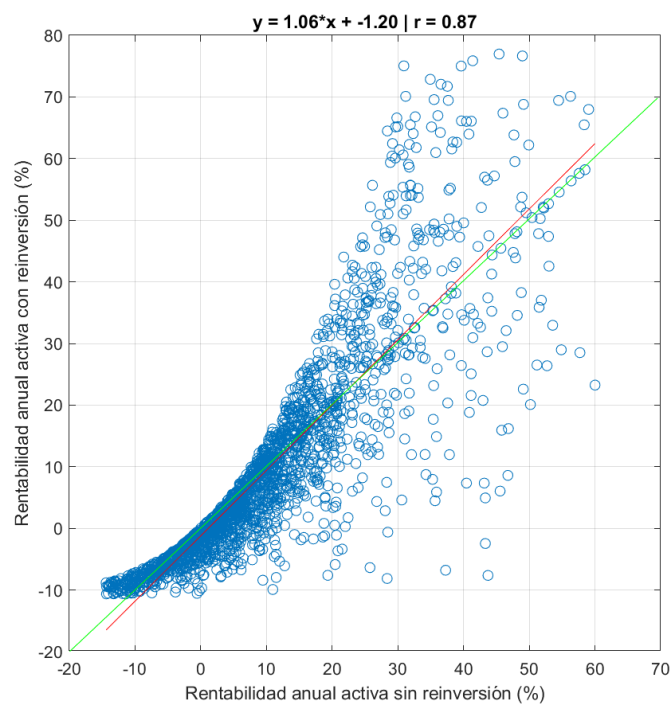


Figura 52: Relación de la rentabilidad anual activa con reinversión (%) en función de la rentabilidad anual activa sin reinversión (%)

En el gráfico “Rentabilidad anual activa con reinversión (%) en función de la Rentabilidad anual activa sin inversión (%)” se muestran los puntos de dispersión de la rentabilidad anual activa con reinversión (%) y sin reinversión. En rojo se muestra la recta de correlación ($y = 1,06x - 1,02$) y en verde la hipotética recta ($y = x$) donde la rentabilidad anual activa con reinversión coincidiría con la rentabilidad anual activa sin reinversión. Ambas rectas se cortan en el punto 20%, 20%. Para rentabilidades anuales activas sin reinversión inferiores al 20%, que son la mayoría como se ve en el gráfico, las rentabilidades anuales activas con

reinversión son algo inferiores a las de sin reinversión, al quedar la recta de correlación, roja, por debajo de la recta verde.

4.3.1.3 Análisis en función de la tendencia (bajista, lateral, alcista)

En este apartado se pretende estudiar el efecto que tiene en la rentabilidad, en el número de operaciones y en la ventana larga (solo se ha estudiado la ventana larga, ya que la corta y la media es lo mismo, pero dividido entre dos y cuatro), la tendencia de la acción. Para ello, se han agrupado las acciones en tres grupos diferenciados, tendencia bajista, tendencia lateral y tendencia alcista mediante el percentil 33 y el 66. Todas las acciones cuya rentabilidad pasiva esté por debajo del percentil 33, se consideran tendencia bajista, las que estén entre el percentil 33 y 66 se consideran tendencia lateral y las que estén por encima del percentil 66, se consideran tendencia alcista.

A continuación, se van a mostrar las figuras descritas en el párrafo anterior:

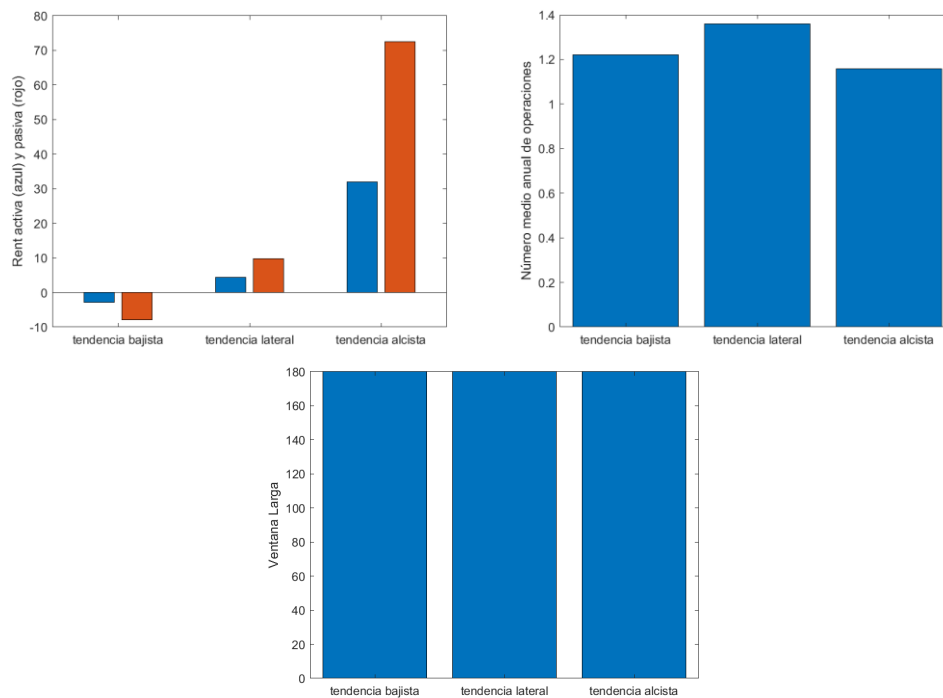


Figura 53: Relación de las rentabilidades, número medio anual de operaciones y ventana larga en función de la tendencia de la acción

A la vista de estos resultados, cabe resaltar que la figura que relaciona la tendencia con la ventana da el resultado esperado, ya que el caso de esta sección es el global, por lo que los parámetros son comunes y por lo tanto, la ventana larga es siempre la misma (180).

Por otro lado, se puede comprobar que el uso de la estrategia de inversión de medias móviles “aplana la rentabilidad”, es decir, en el caso de la tendencia bajista, la rentabilidad mejora, aunque sigue siendo negativa. Sin embargo, para el caso de acciones con tendencia alcista, la rentabilidad activa se queda muy por debajo de la conseguida de forma pasiva. Para el caso de tendencia lateral, es bastante similar.

En cuanto al número de operaciones, no se ve un patrón claro que lo relacione con la tendencia de la acción.

4.3.1.4 Análisis en función de las variables continuas y discretas

Entre variables continuas y continuas:

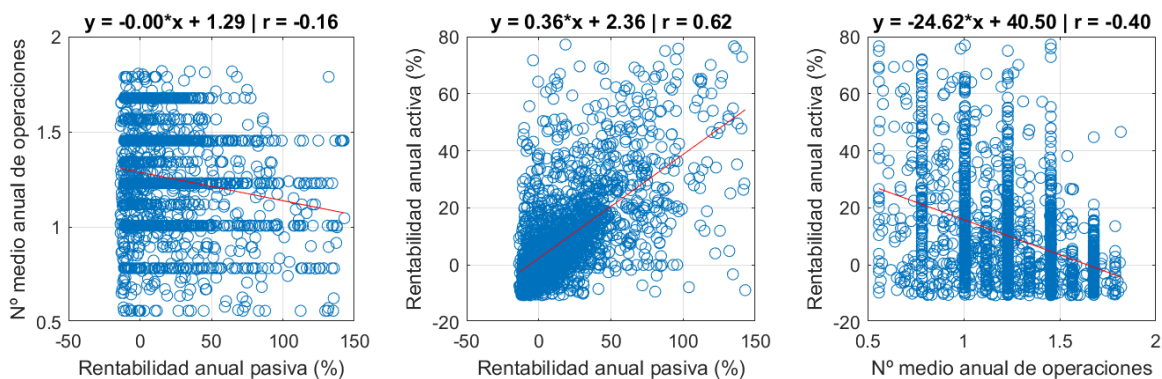


Figura 54: Relación entre variables continuas

En el primer gráfico “Número medio anual de operaciones en función de la Rentabilidad media anual pasiva (%)” se observa que, a medida que aumenta la rentabilidad media anual pasiva (%), disminuye el número medio anual de operaciones. Por tanto, cuanto mayor sea la tendencia alcista de un valor, utilizando la estrategia, aparentemente, se tenderá a hacer

menos operaciones anuales. Sin embargo, al ser el coeficiente de correlación bajo ($r = -0,16$) la relación entre ambas variables es baja.

En el segundo gráfico “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la Rentabilidad anual pasiva (%)” se observa que, a medida que aumenta la rentabilidad media anual pasiva (%), aumenta la rentabilidad anual activa (%). Al tener un coeficiente de correlación bastante mejor ($r = 0,62$) la relación entre ambas variables es más fuerte.

En el tercer gráfico “Rentabilidad media anual activa (%) en función del Número medio anual de operaciones” se observa que, a medida que aumenta el número medio de operaciones, disminuye la rentabilidad media anual activa (%). Tiene un coeficiente de correlación aceptable ($r = -0,40$) pero no elevado por lo tanto la relación entre ambas variables es aceptable, pero no fuerte.

Entre variables continuas y discretas

- Por mercado:

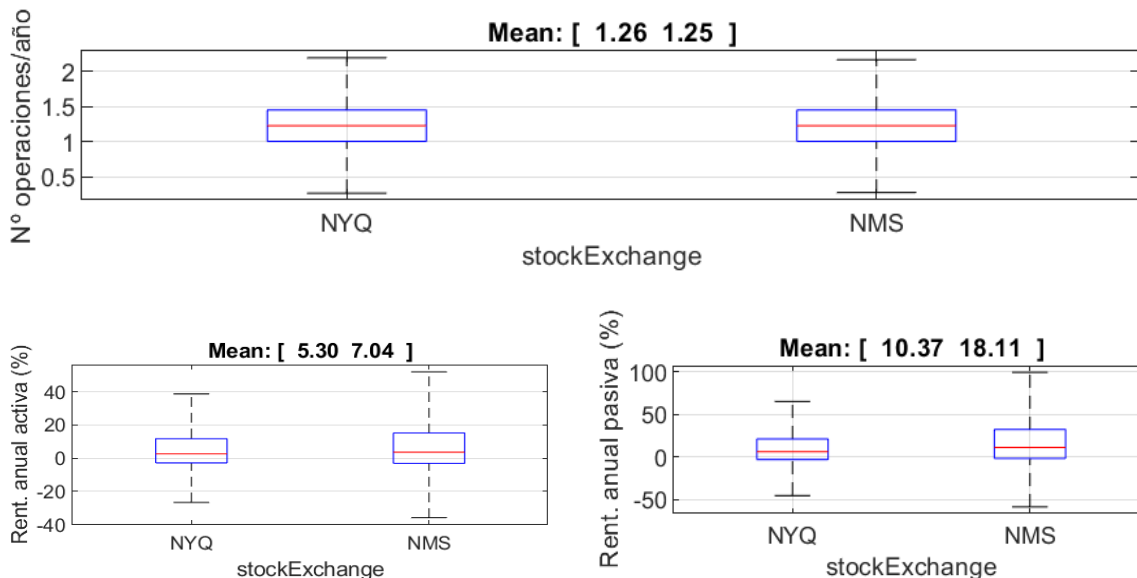


Figura 55: Relación entre variables continuas y la variable discreta, mercado

En el primer gráfico, “Número medio anual de operaciones en función del mercado, NYQ o NMS”, se ve que, aparentemente, el mercado no influye en el número medio anual de operaciones.

Tanto en el segundo gráfico, “Rentabilidad media anual activa (%) en función del mercado, NYQ o NMS”, como en el tercer gráfico, “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función del mercado, NYQ o NMS”, se observa que tanto la rentabilidad anual activa como la pasiva es mayor en la bolsa americana NASDAQ (índice NMS), que la bolsa americana NYSE (índice NYQ).

También se observa que la rentabilidad media anual activa es inferior a la rentabilidad media anual pasiva tanto la bolsa americana NASDAQ (índice NMS) como en la bolsa americana NYSE (índice NYQ).

- Por sectores:

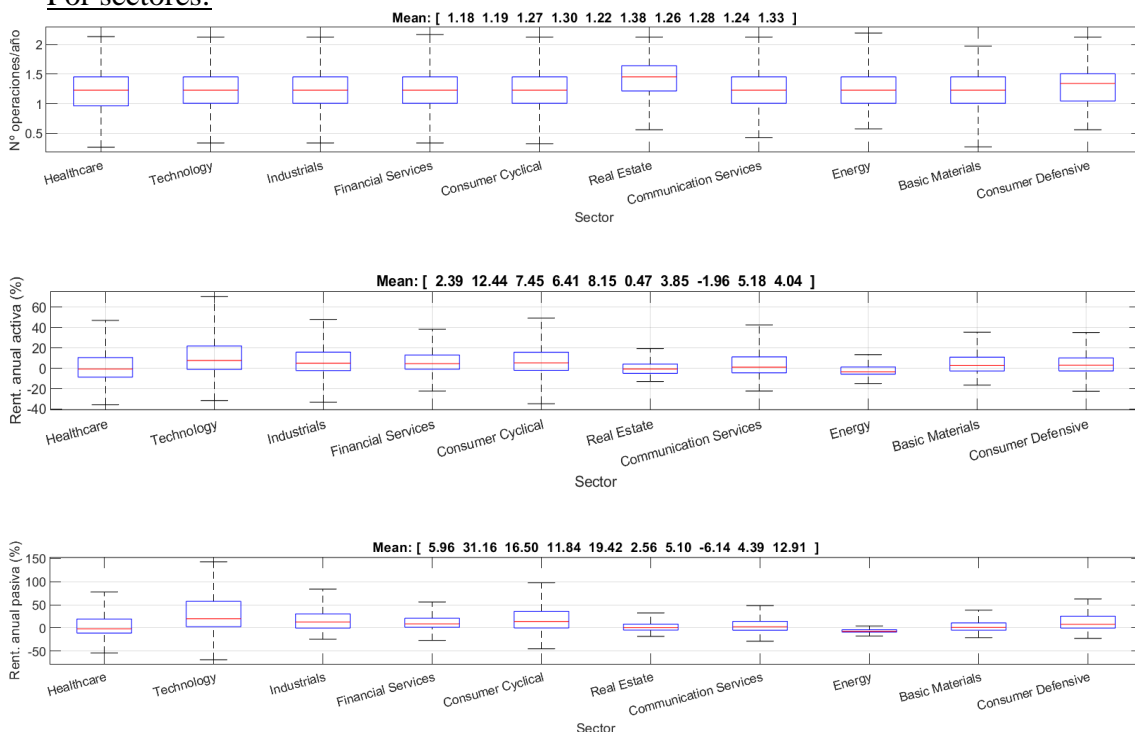


Figura 56: Relación entre variables continuas y la variable discreta, sector

En el primer gráfico “Número medio anual de operaciones en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, el número medio anual de operaciones se mantiene muy parecido en todos los sectores, variando entre un valor mínimo de 1,18 en el sector de salud y 1,38 en el sector inmobiliario. Asimismo, las dispersiones son muy similares en todos los sectores y no son altas.

En el segundo gráfico “Rentabilidad media anual activa (%) en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, la rentabilidad media anual activa va desde -1,96% en el sector de la energía hasta el 12,44% en el sector de la tecnología.

En el tercer gráfico “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, la rentabilidad media anual pasiva va desde -6,14% en el sector de la energía hasta el 31,16% en el sector de la tecnología.

La rentabilidad media anual activa es superior a la rentabilidad media anual pasiva en los siguientes dos sectores: energía (-1,96% de rentabilidad activa vs -6,14% de rentabilidad pasiva) y materiales básicos (5,18% de rentabilidad activa vs 4,39% de rentabilidad pasiva). Por tanto, en los sectores de energía y materiales básicos, es recomendable utilizar la estrategia de inversión en lugar de la pasiva.

En cambio, la rentabilidad media anual pasiva es superior a la rentabilidad media anual activa en los siguientes ocho sectores: salud (2,39% de rentabilidad activa vs 5,96% de rentabilidad pasiva), tecnología (12,44% de rentabilidad activa vs 31,16% de rentabilidad pasiva), industria (7,45% de rentabilidad activa vs 16,50% de rentabilidad pasiva), servicios financieros (6,41% de rentabilidad activa vs 11,84% de rentabilidad pasiva), bienes de consumo cíclico (8,15% de rentabilidad activa vs 19,42% de rentabilidad pasiva),

inmobiliario (0,47% de rentabilidad activa vs 2,56% de rentabilidad pasiva), servicios de comunicación (3,85% de rentabilidad activa vs 5,10% de rentabilidad pasiva), y bienes de consumo anticíclicos o defensivos (4,04% de rentabilidad activa vs 12,91% de rentabilidad pasiva).

- Por industrias:

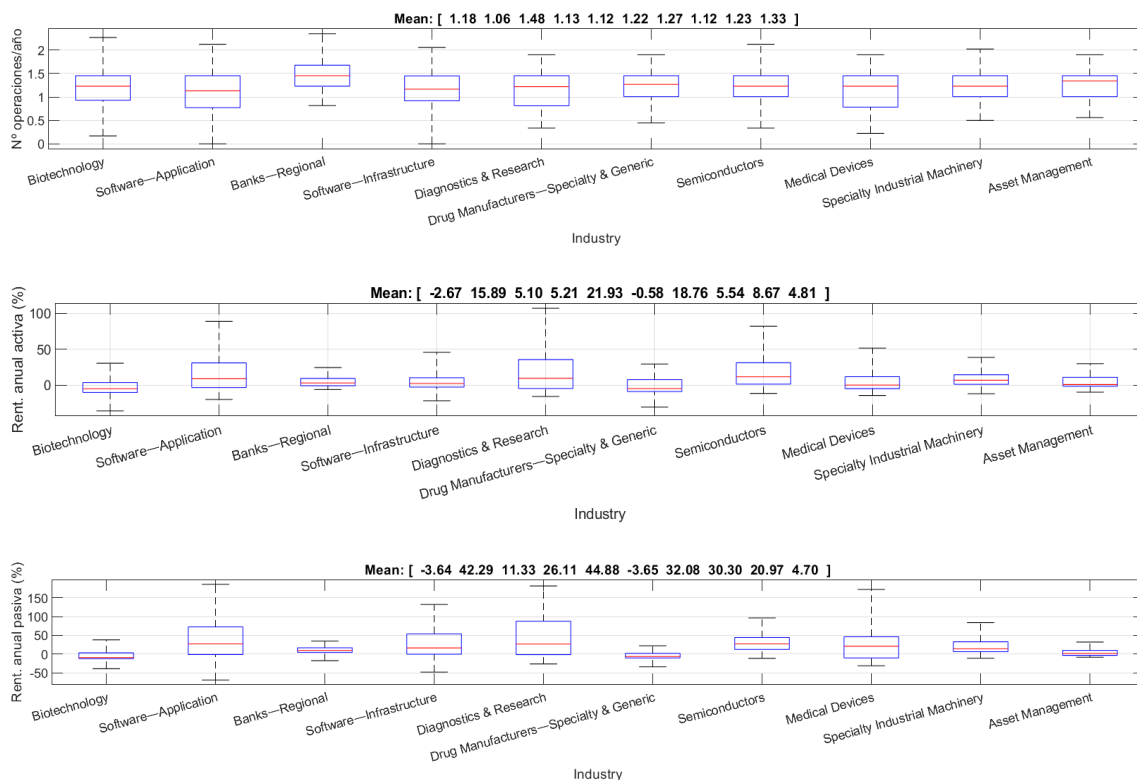


Figura 57: Relación entre variables continuas y la variable discreta, industria

En el primer gráfico “Número medio anual de operaciones en función de la industria (biotecnología, software-aplicaciones, bancos-regionales, software-infraestructura, diagnóstico-investigación, farmacéuticas, semiconductores, dispositivos médicos, maquinaria industrial y gestión de activos)”, el número medio anual de operaciones se mantiene muy parecido en todas las industrias, variando entre un valor mínimo de 1,06 en

la industria de software-aplicaciones y 1,48 en la industria de bancos-regionales. Asimismo, las dispersiones son muy similares en todas las industrias y no son altas.

En el segundo gráfico “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la industria (biotecnología, software-aplicaciones, bancos-regionales, software-infraestructura, diagnóstico-investigación, farmacéuticas, semiconductores, dispositivos médicos, maquinaria industrial y gestión de activos)”, la rentabilidad media anual activa va desde -2,67% en la industria de biotecnología hasta el 21,93% en la industria de diagnóstico-investigación.

En el tercer gráfico “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función de la industria (biotecnología, software-aplicaciones, bancos-regionales, software-infraestructura, diagnóstico-investigación, farmacéuticas, semiconductores, dispositivos médicos, maquinaria industrial y gestión de activos)”, la rentabilidad media anual pasiva va desde -3,65% en la industria farmacéuticas hasta el 44,88% en la industria de diagnóstico-investigación.

La rentabilidad media anual activa es superior a la rentabilidad media anual pasiva en las siguientes tres industrias: biotecnología (-2,67% de rentabilidad activa vs -3,64% de rentabilidad pasiva), farmacéuticas (-0,58% de rentabilidad activa vs -3,65% de rentabilidad pasiva) y gestión de activos (4,81% de rentabilidad activa vs 4,70% de rentabilidad pasiva). Por tanto, en las industrias de biotecnología, farmacéuticas y de gestión de activos, es recomendable utilizar la estrategia de inversión en lugar de la pasiva.

En cambio, la rentabilidad media anual pasiva es superior a la rentabilidad media anual activa en las siguientes siete industrias: software-aplicaciones (15,89% de rentabilidad activa vs 42,29% de rentabilidad pasiva), bancos-regionales (5,10% de rentabilidad activa vs 11,33% de rentabilidad pasiva), software-infraestructura (5,21% de rentabilidad activa vs 26,11% de rentabilidad pasiva), diagnóstico-investigación (21,93% de rentabilidad activa vs 44,88% de rentabilidad pasiva), semiconductores (18,76% de rentabilidad activa vs 32,08% de rentabilidad pasiva), dispositivos médicos (5,54% de rentabilidad activa vs 30,3% de rentabilidad pasiva) y maquinaria industrial (8,67% de rentabilidad activa vs 20,97% de rentabilidad pasiva).

Entre variables continuas y ellas mismas discretizadas:

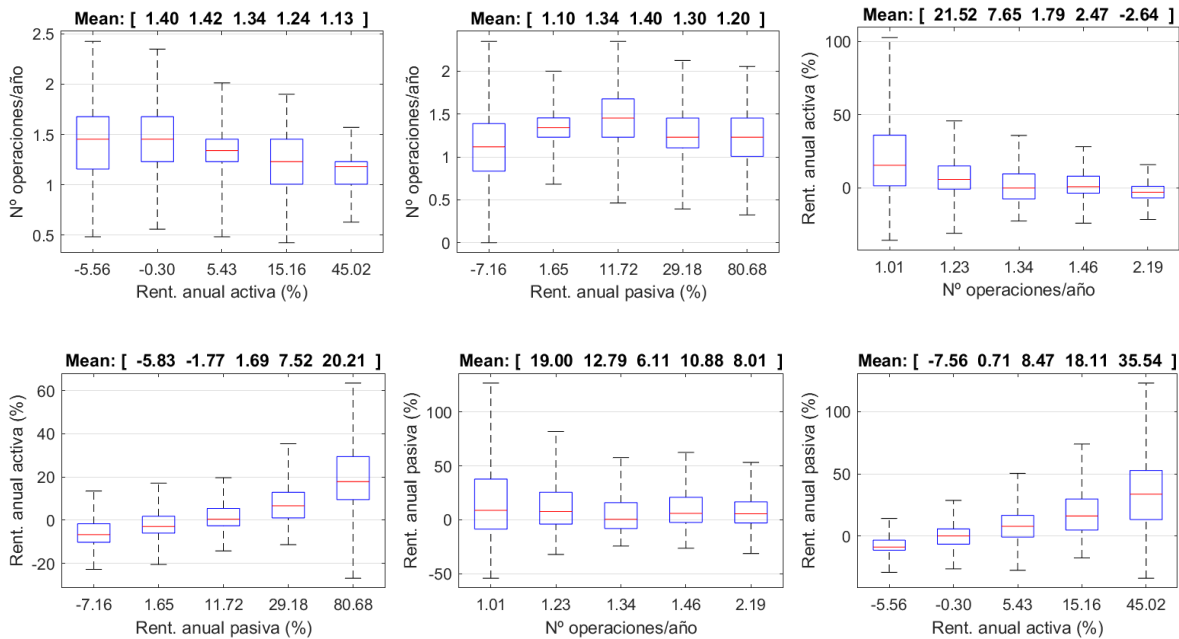


Figura 58: Relación entre variables continuas y variables continuas discretizadas

Tanto en el primer gráfico, “Número medio anual de operaciones en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual activa (%)”, como en el segundo, “Número medio anual de operaciones en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual pasiva (%)”, como en el tercero, “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la variable continua discretizada Número medio anual de operaciones”, como en el quinto “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función de la variable continua discretizada Número medio anual de operaciones”, se comprueba, aunque con matizaciones, cómo las rentabilidades medias anuales activas y pasivas aumentan a medida que disminuyen el número medio anual de operaciones. Esto está en línea con lo que ya se analizó anteriormente cuando se estudió la relación entre variables continuas y continuas.

En el cuarto gráfico, “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual pasiva (%)”, como en el sexto, “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual activa (%)”, se comprueba que la rentabilidad media anual activa aumenta a medida que lo

hace la rentabilidad media anual pasiva. Conclusión a la que ya se había llegado cuando se estudió la relación entre variables continuas y continuas.

4.3.2 OPTIMIZACIÓN INDIVIDUAL DE CADA VALOR

En este caso se va a partir de una matriz optimizada de forma individual. Esto quiere decir, que se ha analizado acción por acción, cuál sería la máxima rentabilidad que tendría dicha acción. Por lo tanto, los parámetros de esta matriz serán diferentes los unos a los otros ya que se ha optimizado de forma individualizada. En este capítulo se pretende realizar un análisis similar al realizado de forma global para ver si se puede encontrar algún tipo de relación entre las variables.

4.3.2.1 Análisis sobre los parámetros óptimos

En la siguiente tabla se muestran las combinaciones de ventana corta, media y larga y las señales de compra/venta incluyendo su rentabilidad media anual tanto activa como pasiva, el número medio anual de operación, el número de acciones que cumple el criterio de las combinaciones, y, finalmente, qué porcentaje representa sobre el total.

Ventana corta	Ventana media	Ventana larga	Señal 1	Señal 2	Rent activa	Rent pasiva	Numero operaciones	Numero acciones	% Sobre total
75	150	300	3	2	45.73	52.26	0.54	41.00	1.6%
15	30	60	6	6	28.15	5.00	8.28	36.00	1.4%
70	140	280	3	2	24.42	27.94	0.69	36.00	1.4%
70	140	280	3	3	19.60	16.55	0.88	35.00	1.4%
45	90	180	3	3	22.79	7.27	1.42	33.00	1.3%
25	50	100	6	6	36.90	-1.27	4.92	31.00	1.2%
70	140	280	3	1	48.63	71.79	0.49	31.00	1.2%
75	150	300	3	1	34.47	44.85	0.47	31.00	1.2%
65	130	260	3	2	22.75	21.85	0.73	29.00	1.1%
75	150	300	4	3	39.26	49.12	0.54	29.00	1.1%
45	90	180	6	6	25.93	5.29	2.68	28.00	1.1%
55	110	220	3	2	33.12	30.82	0.68	27.00	1.0%
45	90	180	3	2	19.97	13.65	1.08	24.00	0.9%

75	150	300	6	6	45.66	16.21	1.50	24.00	0.9%
----	-----	-----	---	---	-------	-------	------	-------	------

Tabla 6: Combinación de parámetros que más se repiten en el caso individual

Como se puede comprobar en la tabla, la combinación que más predomina (1,6% del total) es la siguiente: ventana corta = 75, ventana media = 150, ventana larga = 300 y señales de compra/venta = 3 y 2.

4.3.2.2 Análisis en función de si hay reinversión o no

A continuación, se va a analizar qué genera más rentabilidad, si la retirada de los beneficios y la reposición de las pérdidas en cada operación o la reinversión de los beneficios y el mantenimiento de las pérdidas. Para ello, se ha calculado cuál es la media de la rentabilidad activa para cada caso y en qué porcentaje de veces, la rentabilidad activa con reinversión es superior a la rentabilidad activa sin reinversión:

	Estrategia	
	Sin reinversión	Con reinversión
% de máximos de la rentabilidad activa	37,29%	62,71%
Media de la rentabilidad activa	29,49%	34,17%

Tabla 7: Porcentaje de máximos de la rentabilidad activa y Media de la rentabilidad activa según la estrategia utilizada (sin inversión o con inversión)

Como se puede observar en la tabla, la estrategia con reinversión es mejor que la estrategia sin reinversión, 34,17% frente a 29,49% en media de rentabilidad la activa y 62,71% frente a 37,29% en porcentaje de máximos de la rentabilidad activa.

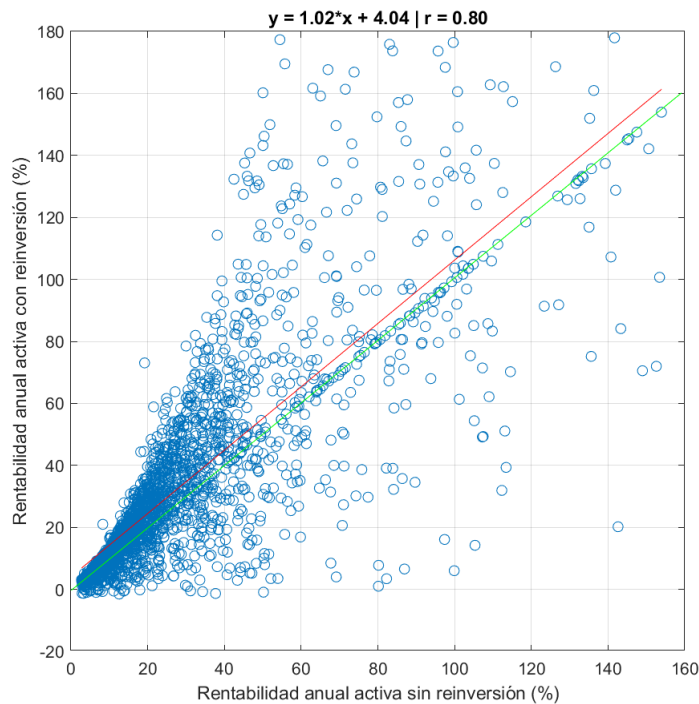


Figura 59: Relación de la rentabilidad anual activa con reinversión (%) en función de la rentabilidad anual activa sin reinversión (%)

En el gráfico “Rentabilidad anual activa con reinversión (%) en función de la Rentabilidad anual activa sin inversión (%)” se muestran los puntos de dispersión de la rentabilidad anual activa con reinversión (%) y sin reinversión. En rojo se muestra la recta de correlación ($y = 1,02x + 4,04$) y en verde la hipotética recta ($y = x$) donde la rentabilidad anual activa con reinversión coincidiría con la sin reinversión. Se observa en el gráfico que las rentabilidades anuales activas con reinversión son algo superiores a las de sin reinversión al quedar la recta de correlación, roja, por encima de la recta verde.

4.3.2.3 Análisis en función de la tendencia (bajista, lateral, alcista)

Al igual que se ha hecho para el caso de optimización de forma global, en este caso se va a analizar cómo influye la tendencia de la acción en la rentabilidad, en el número medio de operaciones y en la ventana larga. Para ello, se ha realizado la misma agrupación según la rentabilidad pasiva. Las figuras obtenidas se muestran a continuación:

A continuación, se van a mostrar las figuras descritas en el párrafo anterior:

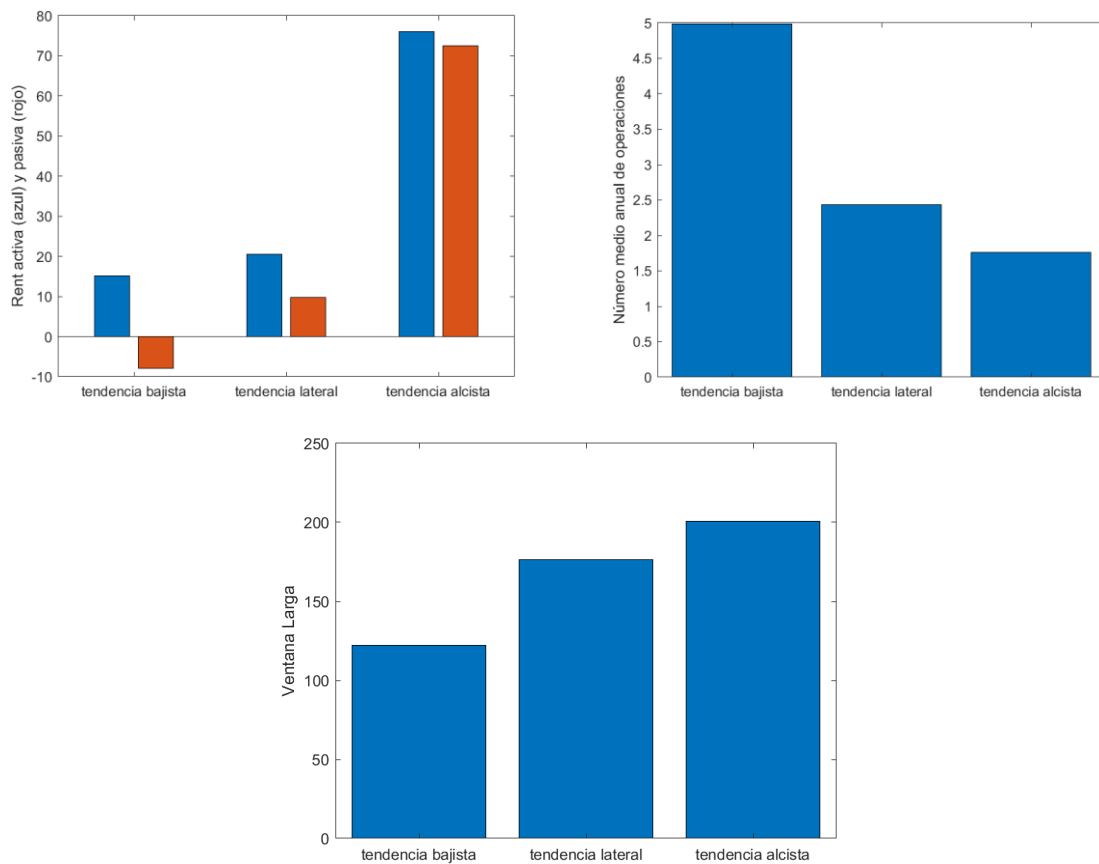


Figura 60: Relación de las rentabilidades, número medio anual de operaciones y ventana larga en función de la tendencia de la acción

Como se puede comprobar en este caso, al ser una optimización individual, cada acción tiene un parámetro diferente, por lo que, en este caso, la ventana larga sí que cambia.

Se puede observar que, en los tres casos, la rentabilidad activa media anual supera a la rentabilidad pasiva anual. Por lo tanto, en este caso, el uso de la estrategia de inversión basada en medias, optimizada de forma individual, resulta beneficioso.

Además, se puede ver una relación entre las ventanas y el número de operaciones. Cuando la ventana larga aumenta, es decir se usan más días para el cálculo de la media, el número medio de operaciones disminuye y viceversa.

4.3.2.4 Análisis en función de las variables continuas y discretas

Entre variables continuas y continuas:

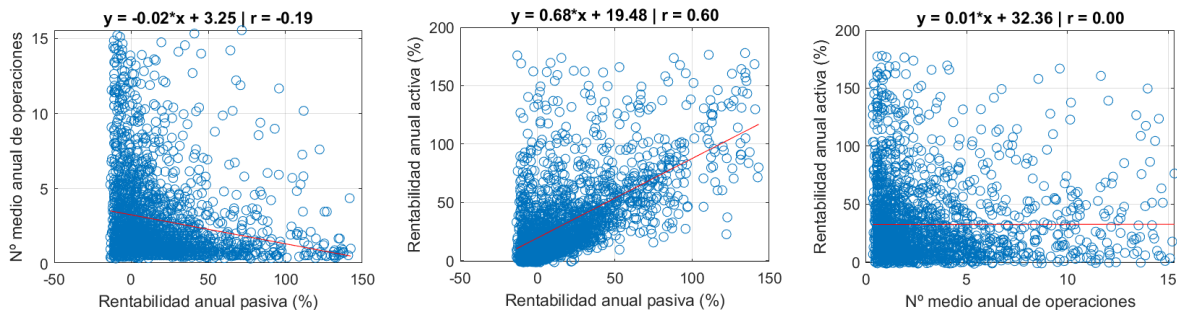


Figura 61: Relación entre variables continuas: número medio anual de operaciones, rentabilidad media anual activa (%) y rentabilidad media anual pasiva (%)

En el primer gráfico “Número medio anual de operaciones en función de la Rentabilidad media anual pasiva (%)” se observa que, a medida que aumenta la rentabilidad media anual pasiva (%), disminuye el número medio anual de operaciones. Por tanto, cuanto mayor sea la tendencia alcista de un valor, utilizando la estrategia, aparentemente, se tenderá a hacer menos operaciones anuales. Sin embargo, al ser el coeficiente de correlación bajo ($r = -0,19$) la relación entre ambas variables es baja.

En el segundo gráfico “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la Rentabilidad anual pasiva (%)” se observa que, a medida que aumenta la rentabilidad media anual pasiva (%), aumenta la rentabilidad anual activa (%). Al tener un coeficiente de correlación bastante mejor ($r = 0,60$) la relación entre ambas variables es más fuerte.

En el tercer gráfico “Rentabilidad media anual activa (%) en función del Número medio anual de operaciones” se observa que, a medida que aumenta el número medio de operaciones, aumenta mínimamente la rentabilidad media anual activa (%). Al ser el coeficiente de correlación bajo ($r = 0,00$) la relación entre ambas variables es baja.

Entre variables continuas y discretas

- Por mercado:

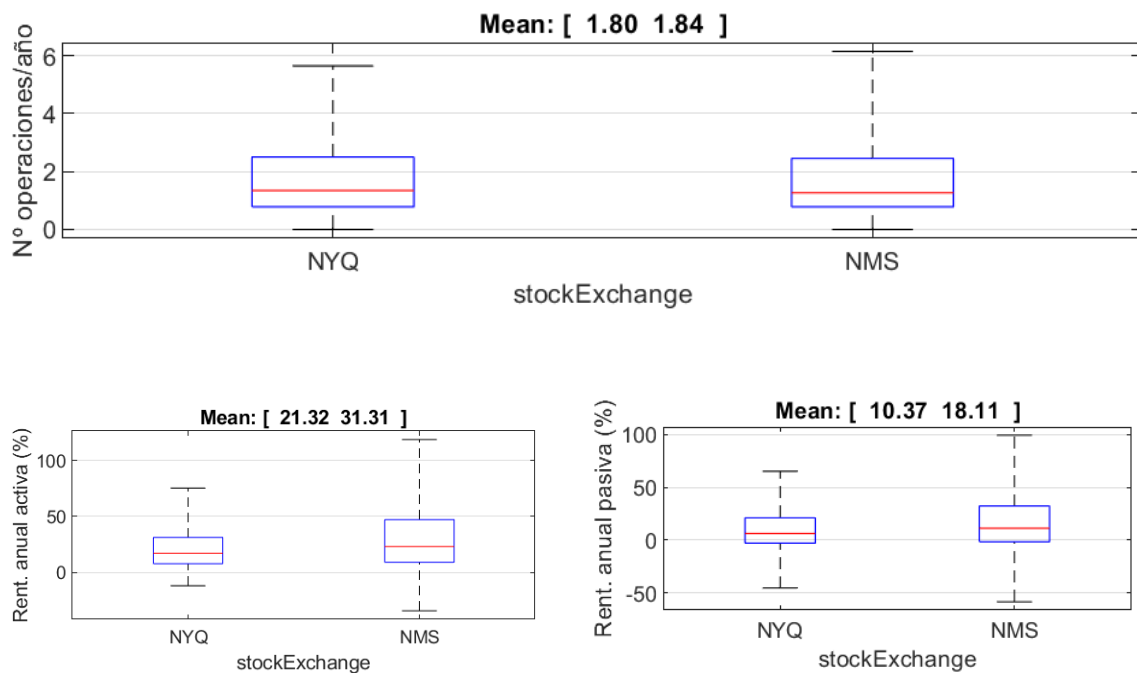


Figura 62: Relación entre variables continuas y la variable discreta, mercado

En el primer gráfico, “Número medio anual de operaciones en función del mercado, NYQ o NMS”, se ve que, aparentemente, el mercado no influye en el número medio anual de operaciones.

Tanto en el segundo gráfico, “Rentabilidad media anual activa (%) en función del mercado, NYQ o NMS”, como en el tercer gráfico, “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función del mercado, NYQ o NMS”, se observa que tanto la rentabilidad anual activa como la pasiva es mayor en la bolsa americana NASDAQ (índice NMS), que la bolsa americana NYSE (índice NYQ).

También se observa que la rentabilidad media anual activa es superior a la rentabilidad media anual pasiva tanto la bolsa americana NASDAQ (índice NMS) como en la bolsa americana NYSE (índice NYQ). Lo que quiere decir que usando la optimización de forma individual, la estrategia de inversión basada en medias, consigue superar a la estrategia pasiva.

- Por sectores:

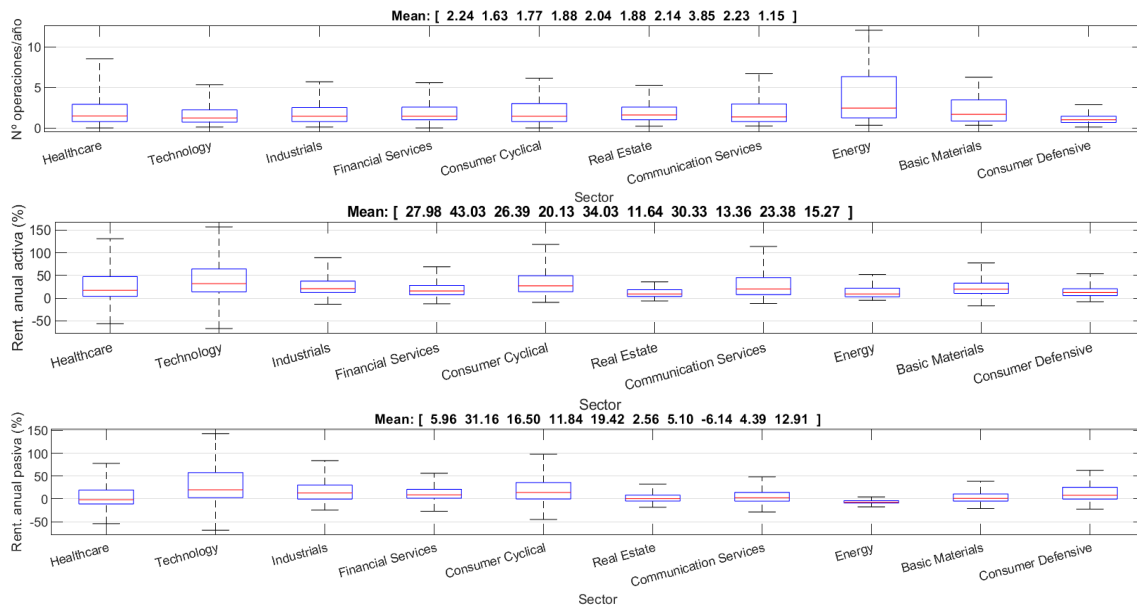


Figura 63: Relación entre variables continuas y la variable discreta, sector

En el primer gráfico “Número medio anual de operaciones en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, el número medio anual de operaciones varía entre un valor mínimo de 1,15 en el sector de bienes de consumo anticíclicos o defensivos y 3,85 en el sector energía. En este sector es también donde hay una mayor dispersión. Si no incluimos el sector de la energía, el número medio anual de operaciones es parecido en todos los sectores, variando entre el 1,15, ya indicado, en el sector de bienes de consumo anticíclicos o defensivos y el 2,24 en el sector de salud. Es decir, varía, aproximadamente, en una operación de compra o de venta de media al año.

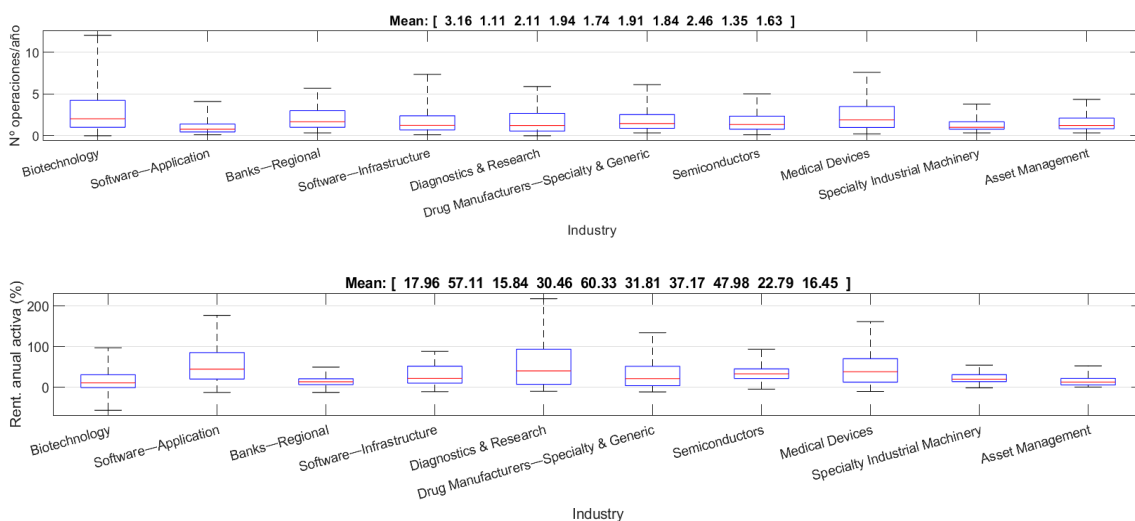
En el segundo gráfico “Rentabilidad media anual activa (%) en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, la rentabilidad media anual activa va desde el 11,64% en el sector inmobiliario hasta el 43,03% en el sector de la tecnología.

En el tercer gráfico “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario,

servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, la rentabilidad media anual pasiva va desde -6,14% en el sector de la energía hasta el 31,16% en el sector de la tecnología. Estos datos coinciden, como era de esperar, con los obtenidos en el caso de optimización global.

La rentabilidad media anual activa es superior a la rentabilidad media anual pasiva en todos los sectores: salud (27,98% de rentabilidad activa vs 5,96% de rentabilidad pasiva), tecnología (43,03 de rentabilidad activa vs 31,16% de rentabilidad pasiva), industria (26,39% de rentabilidad activa vs 16,50% de rentabilidad pasiva), servicios financieros (20,13% de rentabilidad activa vs 11,84% de rentabilidad pasiva), bienes de consumo cíclico (34,03% de rentabilidad activa vs 19,42% de rentabilidad pasiva), inmobiliario (11,64% de rentabilidad activa vs 2,56% de rentabilidad pasiva), servicios de comunicación (30,33% de rentabilidad activa vs 5,10% de rentabilidad pasiva), energía (13,36% de rentabilidad activa vs -6,14% de rentabilidad pasiva), materiales básicos (23,38% de rentabilidad activa vs 4,39% de rentabilidad pasiva) y bienes de consumo anticíclicos o defensivos (15,27% de rentabilidad activa vs 12,91% de rentabilidad pasiva). Por tanto, en los diez sectores es recomendable utilizar la estrategia de inversión en lugar de la pasiva. También se puede observar que la dispersión es mayor en el sector de la salud por lo que la rentabilidad media anual activa variará más en función del valor que se seleccione.

- Por industrias:



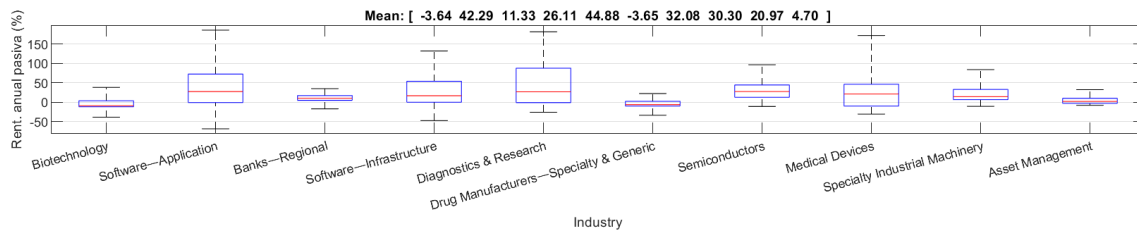


Figura 64: Relación entre variables continuas y la variable discreta, industria

En el primer gráfico “Número medio anual de operaciones en función de la industria (biotecnología, software-aplicaciones, bancos-regionales, software-infraestructura, diagnóstico-investigación, farmacéuticas, semiconductores, dispositivos médicos, maquinaria industrial y gestión de activos)”, el número medio anual de operaciones varía entre un valor mínimo de 1,11 en la industria de software-aplicaciones y 3,16 en la industria de biotecnología. En esta industria es también donde hay una mayor dispersión. Si no incluimos la industria de biotecnología, el número medio anual de operaciones es parecido en todos los sectores, variando entre el 1,11, ya indicado, en la industria de software-aplicaciones y el 2,46 en la industria de dispositivos médicos. Es decir, varía, aproximadamente, en una operación de compra o de venta de media al año.

En el segundo gráfico “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la industria (biotecnología, software-aplicaciones, bancos-regionales, software-infraestructura, diagnóstico-investigación, farmacéuticas, semiconductores, dispositivos médicos, maquinaria industrial y gestión de activos)”, la rentabilidad media anual activa va desde 15,84% en la industria de bancos-regionales hasta el 60,33% en la industria de diagnóstico-investigación.

En el tercer gráfico “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función de la industria (biotecnología, software-aplicaciones, bancos-regionales, software-infraestructura, diagnóstico-investigación, farmacéuticas, semiconductores, dispositivos médicos, maquinaria industrial y gestión de activos)”, la rentabilidad media anual pasiva va desde -3,65% en la industria farmacéuticas hasta el 44,88% en la industria de diagnóstico-investigación. Estos datos coinciden, como era de esperar, con los obtenidos en el caso de optimización global.

La rentabilidad media anual activa es superior a la rentabilidad media anual pasiva en todas las industrias: biotecnología (17,96% de rentabilidad activa vs -3,64% de rentabilidad pasiva), software-aplicaciones (57,11% de rentabilidad activa vs 42,29% de rentabilidad pasiva), bancos-regionales (15,84% de rentabilidad activa vs 11,33% de rentabilidad pasiva), software-infraestructura (30,46% de rentabilidad activa vs 26,11% de rentabilidad pasiva), diagnóstico-investigación (60,33% de rentabilidad activa vs 44,88% de rentabilidad pasiva), farmacéuticas (31,81% de rentabilidad activa vs -3,65% de rentabilidad pasiva), semiconductores (37,17% de rentabilidad activa vs 32,08% de rentabilidad pasiva), dispositivos médicos (47,98% de rentabilidad activa vs 30,3% de rentabilidad pasiva), maquinaria industrial (22,79% de rentabilidad activa vs 20,97% de rentabilidad pasiva) y gestión de activos (16,45% de rentabilidad activa vs 4,70% de rentabilidad pasiva). Por ello, en todas las industrias es recomendable utilizar la estrategia de inversión en lugar de la pasiva.

Entre variables continuas y discretas (tipos de señales)

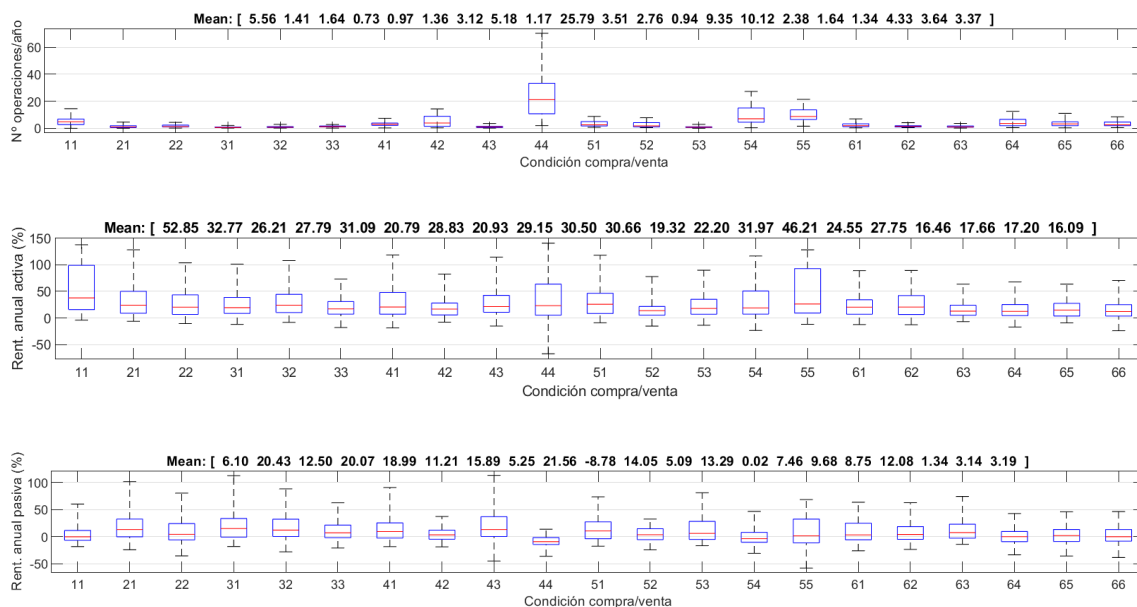


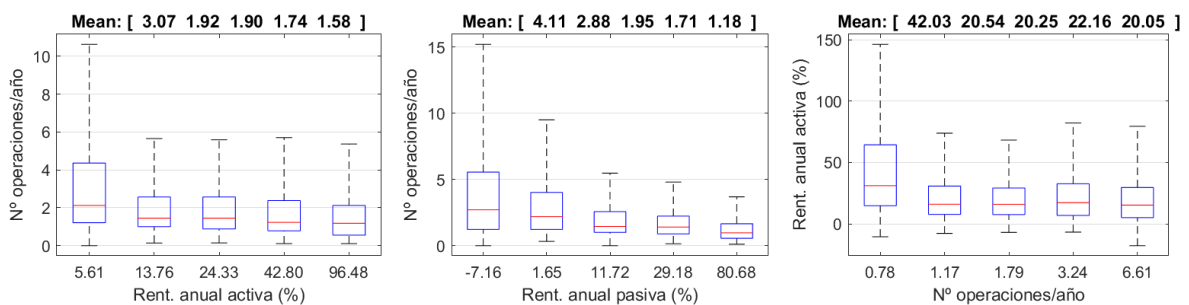
Figura 65: Relación entre variables continuas y la variable discreta, señal, con la condición de compra o venta

En el primer gráfico “Número medio anual de operaciones en función de la señal” se observa que los mayores números medios anuales de operaciones son los siguientes: 25,79 con la señal 44, es decir, se compra si $p_c/p_{mvc} > 1$ y se vende p_c/p_{mvc} si < 1 ; 10,12 con la señal 55, es decir, se compra si $p_c/p_{mvi} > 1$ y se vende p_c/p_{mvi} si < 1 ; y 9,35 con la señal 54, es decir, se compra si tanto $p_c/p_{mvi} > 1$ como $p_c/p_{mvc} > 1$ y se vende si tanto $p_c/p_{mvi} < 1$ como $p_c/p_{mvc} < 1$.

En el segundo gráfico “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la señal” se observa que las mayores rentabilidades medias anuales activas son las siguientes: 52,85% con la señal 11, es decir, se compra si $p_c/p_{mvl} > 1$ y se vende si $p_c/p_{mvl} < 1$; 46,21% con la señal 55, es decir, se compra si $p_c/p_{mvi} > 1$ y se vende p_c/p_{mvi} si < 1 ; y 32,77% con la señal 21, es decir, se compra si tanto $p_{mvc}/p_{mvl} > 1$ como $p_c/p_{mvl} > 1$ y se vende si tanto $p_{mvc}/p_{mvl} < 1$ como $p_c/p_{mvl} < 1$.

En el tercer gráfico “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función de la señal” se observa que las mayores rentabilidades medias anuales pasivas son las siguientes: 21,56% con la señal 43, es decir, se compra si tanto $p_c/p_{mvc} > 1$ como $p_{mvi}/p_{mvl} > 1$ y se vende si tanto p_c/p_{mvc} si < 1 como $p_{mvi}/p_{mvl} < 1$; 20,43% con la señal 21, es decir, se compra si tanto $p_{mvc}/p_{mvl} > 1$ como $p_c/p_{mvl} > 1$ y se vende si tanto $p_{mvc}/p_{mvl} < 1$ como $p_c/p_{mvl} < 1$; y 20,07% con la señal 31, es decir, se compra si tanto $p_{mvi}/p_{mvl} > 1$ como $p_c/p_{mvl} > 1$ y se vende si tanto $p_{mvi}/p_{mvl} < 1$ como $p_c/p_{mvl} < 1$.

Entre variables continuas y ellas mismas discretizadas:



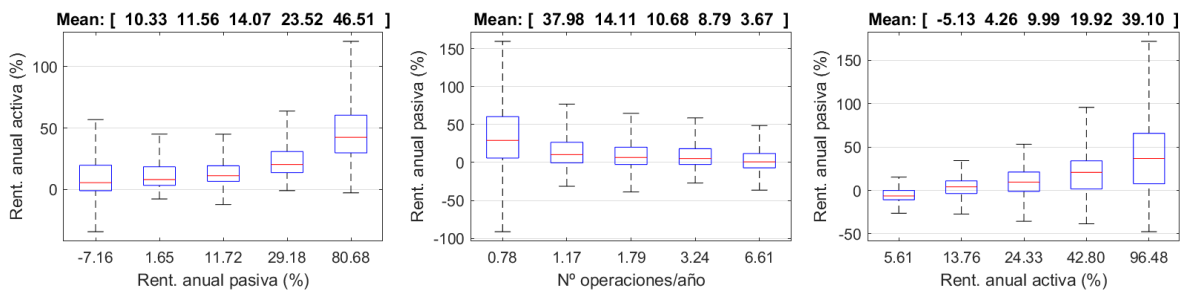


Figura 66: Relación entre variables continuas y variables continuas discretizadas

Tanto en el primer gráfico, “Número medio anual de operaciones en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual activa (%)”, como en el segundo, “Número medio anual de operaciones en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual pasiva (%)”, como en el tercero, “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la variable continua discretizada Número medio anual de operaciones”, como en el quinto “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función de la variable continua discretizada Número medio anual de operaciones”, se comprueba cómo las rentabilidades medias anuales activas y pasivas aumentan a medida que disminuyen el número medio anual de operaciones. Esto está en línea con lo que ya se analizó anteriormente cuando se estudió la relación entre variables continuas y continuas.

En el cuarto gráfico, “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual pasiva (%)”, como en el sexto, “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual activa (%)”, se comprueba que la rentabilidad media anual activa aumenta a medida que lo hace la rentabilidad media anual pasiva. Conclusión a la que ya se había llegado cuando se estudió la relación entre variables continuas y continuas. Además, se puede comprobar que para el caso en el que la rentabilidad pasiva es baja, hay una mayor dispersión en la rentabilidad activa.

4.3.3 PERSISTENCIA DEL ÓPTIMO EN EL TIEMPO

En este caso se van a utilizar los datos de las acciones durante nueve años dividiéndolos en dos tramos. El primer tramo tendrá los datos de los cinco primeros años y se optimizará para obtener, para cada acción, su rentabilidad óptima. A continuación, se analizará si en el

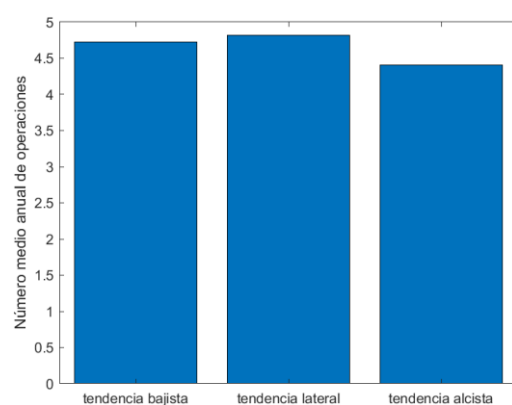
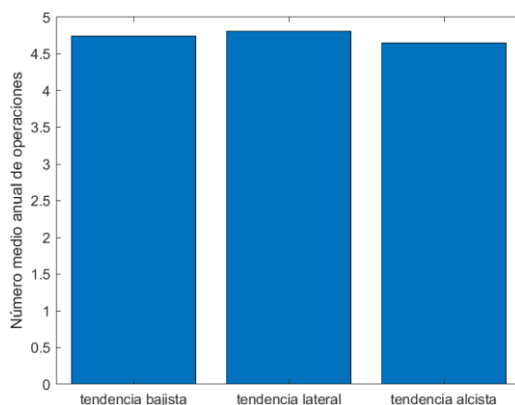
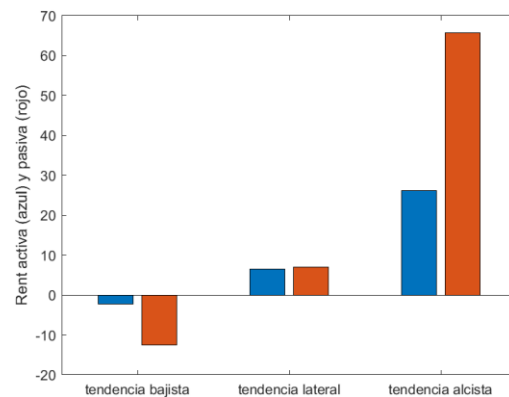
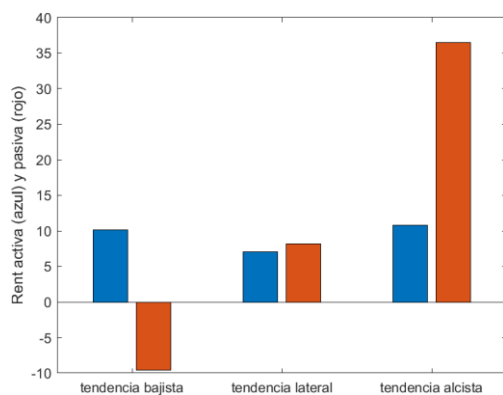
segundo tramo, los cuatro años siguientes, se mantiene o no esa rentabilidad utilizando los mismos parámetros que en el primer tramo.

4.3.3.1 Análisis para la optimización global

En este caso se va a realizar un análisis comparando los resultados obtenidos en la optimización (los primeros 5 años) con los obtenidos los siguientes 4 años, para ver si hay persistencia en el tiempo. Para ello, en este apartado se va a utilizar una matriz que se ha optimizado los primeros 5 años de forma común. Es decir, tal y como se hizo en el primer caso, en el que se obtuvo la combinación de parámetros óptima para que la media de la rentabilidad activa fuera la máxima. En este caso, los parámetros óptimos son los siguientes:

- Ventanas: [25 50 100]
- Señales: 5 (p_c/p_{mvi}) y 6 (p_{mvc}/p_{mvi})

En función de la tendencia:



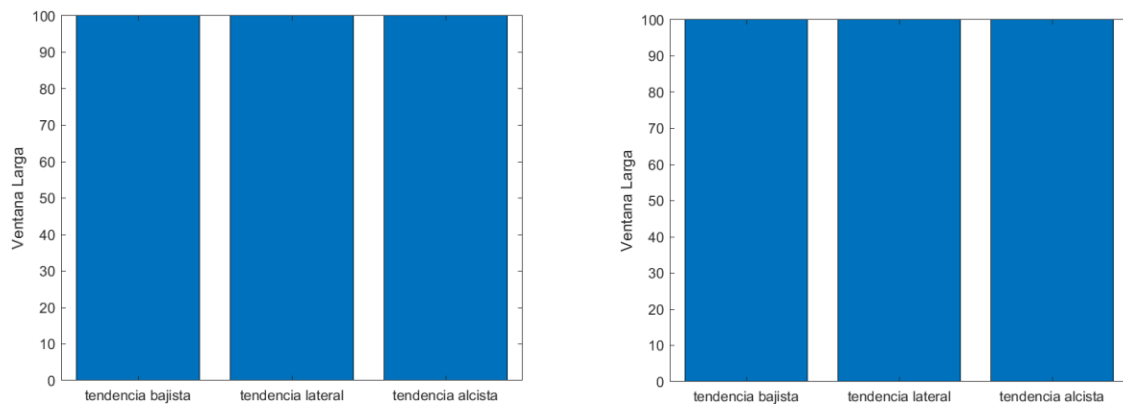


Figura 67: Relación de las rentabilidades, número medio anual de operaciones y ventana larga en función de la tendencia de la acción en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha)

Entre variables continuas y continuas:

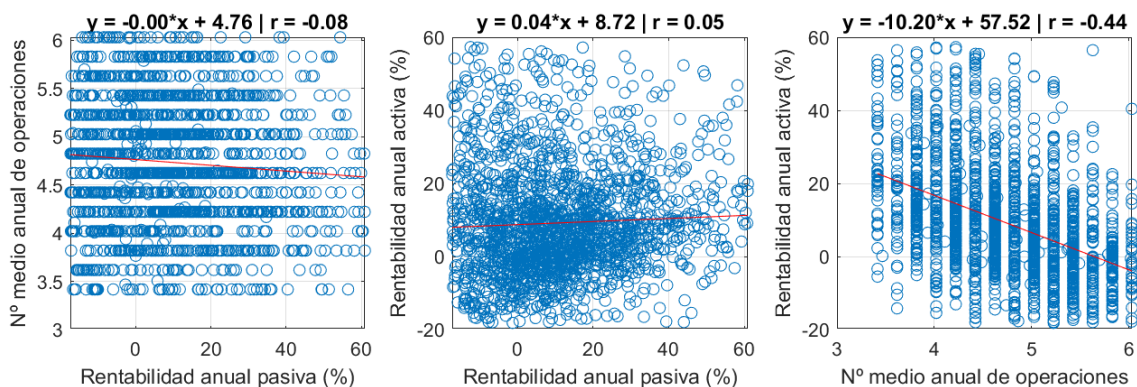


Figura 68: Relación durante los cinco primeros años entre variables continuas

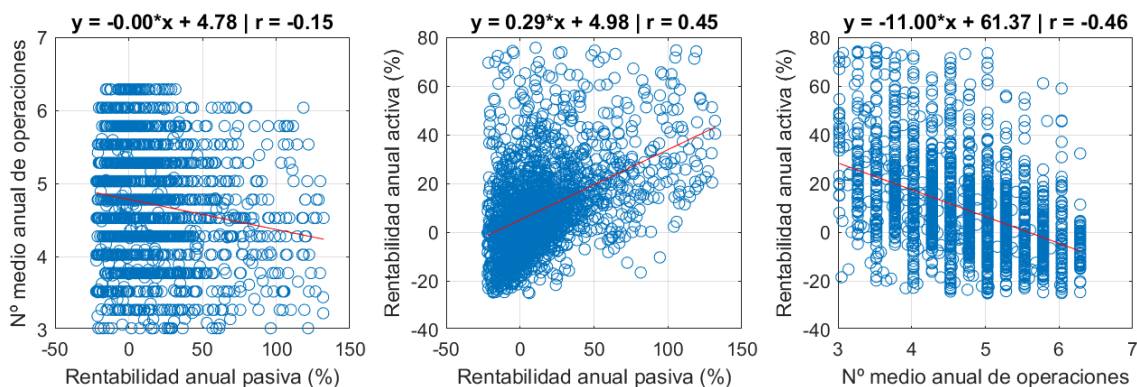


Figura 69: Relación durante los siguientes cuatro años entre variables continuas

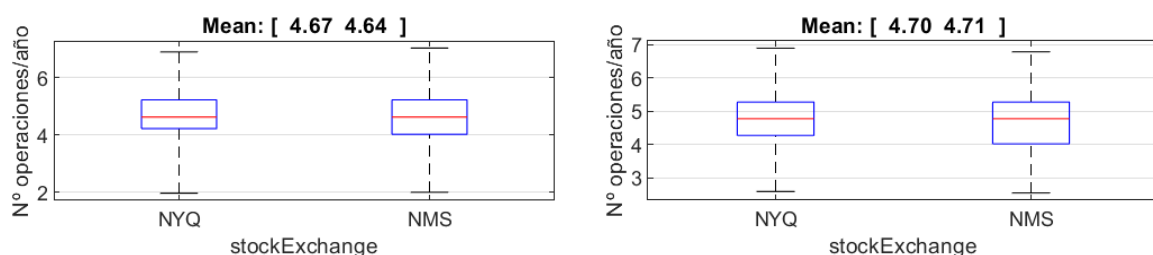
En el primer gráfico de la Figura 68, cinco primeros años, como en el primer gráfico de la Figura 69, siguientes cuatro años, “Número medio anual de operaciones en función de la Rentabilidad media anual pasiva (%)”, se observa que, a medida que aumenta la rentabilidad media anual pasiva (%), disminuye el número medio anual de operaciones. Por tanto, cuanto mayor sea la tendencia alcista de un valor, utilizando la estrategia, aparentemente, se tenderá a hacer menos operaciones anuales, tanto en los cinco primeros años como en los cuatro siguientes. Sin embargo, al ser los coeficientes de correlación bajos ($r = -0,08$ y $r = -0,15$) la relación entre ambas variables es baja.

En el segundo gráfico de la Figura 68, cinco primeros años, como en el segundo gráfico de la Figura 69, siguientes cuatro años, “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la Rentabilidad anual pasiva (%)” se observa que, a medida que aumenta la rentabilidad media anual pasiva (%), aumenta la rentabilidad anual activa (%). El coeficiente de correlación es bajo ($r = 0,05$) durante los cinco primeros años y es más fuerte ($r = 0,45$) durante los siguientes cuatro últimos.

En el tercer gráfico de la Figura 68, cinco primeros años, como en el tercer gráfico de la Figura 69, siguientes cuatro años, “Rentabilidad media anual activa (%) en función del Número medio anual de operaciones” se observa que, a medida que disminuye el número medio de operaciones, aumenta la rentabilidad media anual activa (%). La relación entre ambas variables es fuerte al ser el coeficiente de correlación alto, tanto durante los cinco primeros años, ($r = -0,44$), como en los cuatro siguientes ($r = -0,46$).

Entre variables continuas y discretas

- Por mercado:



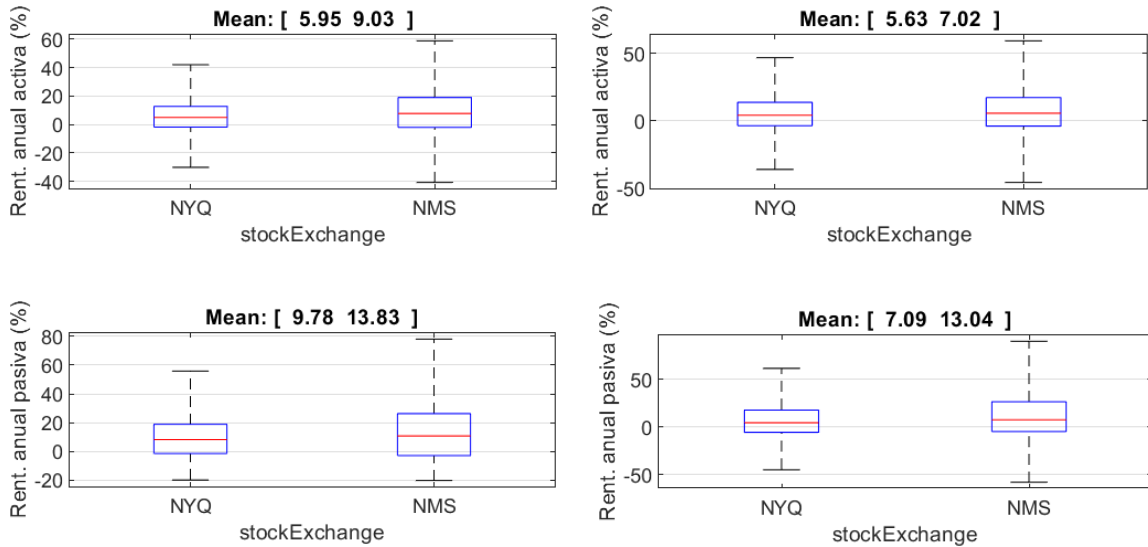
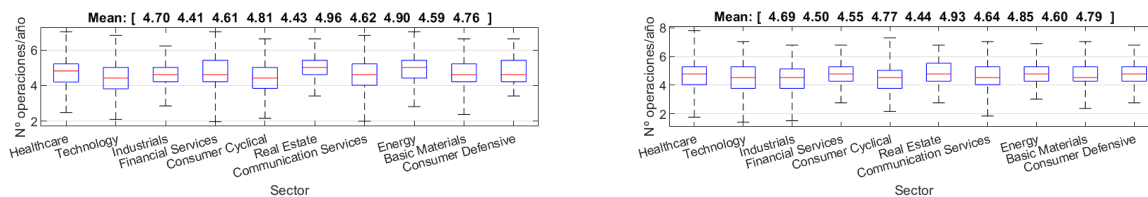


Figura 70: Relación entre variables continuas y la variable discreta, mercado en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha)

En los gráficos primero y segundo, “Número medio anual de operaciones en función del mercado, NYQ o NMS”, se ve que, aparentemente, el mercado no influye en el número medio anual de operaciones y la tendencia durante los cinco primeros años se mantiene en los cuatro siguientes.

En los gráficos segundo y tercero, “Rentabilidad media anual activa (%) en función del mercado, NYQ o NMS”, como en los gráficos cuarto y quinto, “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función del mercado, NYQ o NMS”, se observa que tanto la rentabilidad anual activa como la pasiva es mayor en la bolsa americana NASDAQ (índice NMS), que en la bolsa americana NYSE (índice NYQ). También se observa que las rentabilidades medias anuales activas son inferiores a las pasivas tanto en los cinco primeros años como en los cuatro siguientes.

- Por sectores:



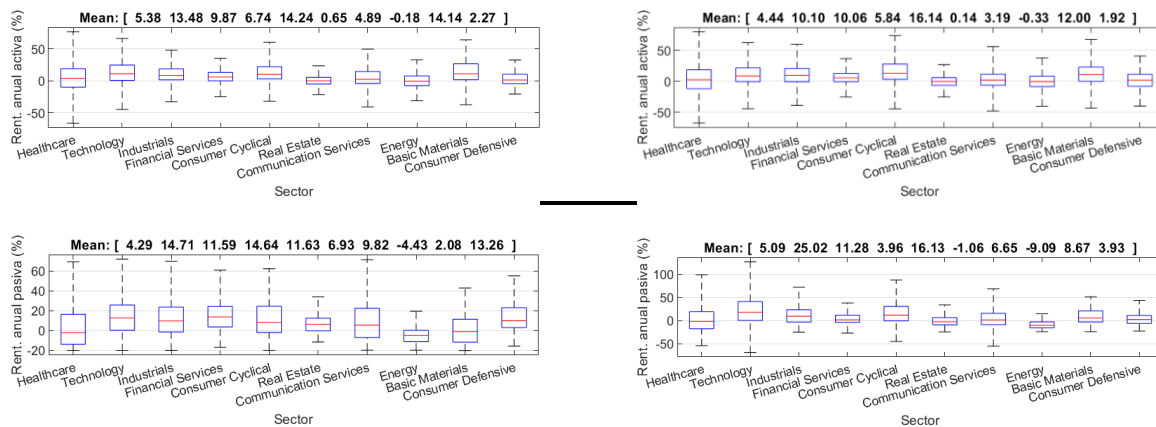


Figura 71: Relación entre variables continuas y la variable discreta, sector en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha)

En los gráficos primero y segundo “Número medio anual de operaciones en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, el número medio anual de operaciones se mantiene semejante durante los cinco primeros años, entre 4,41 y 4,96, y los cuatro siguientes, entre 4,44 y 4,93.

En los gráficos segundo y tercero, “Rentabilidad media anual activa (%) en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, la rentabilidad media anual activa es en tres sectores: bienes de consumo cíclicos, energía y materiales básicos, superior a la rentabilidad media pasiva tanto en los cinco primeros años, como en los cuatro siguientes.

En los gráficos cuarto y quinto, “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, la rentabilidad media anual pasiva, dependiendo del sector, es algo mayor o menor durante los cinco primeros años comparado con los cuatro siguientes.

- Por industrias:

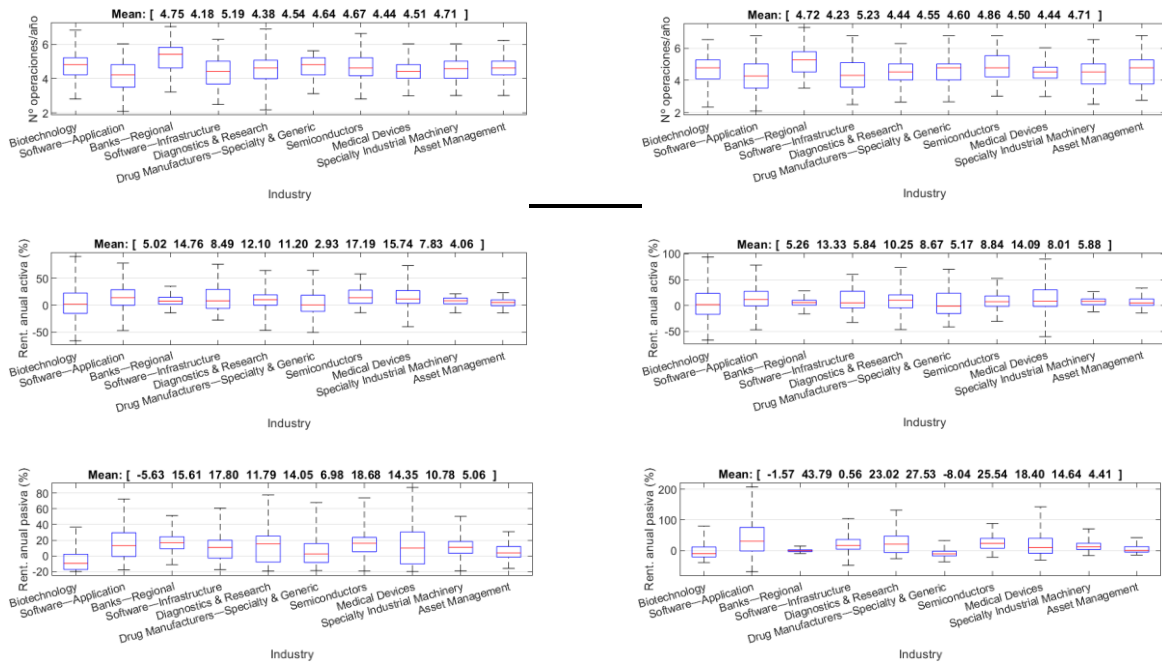


Figura 72: Relación entre variables continuas y la variable discreta, industria en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha)

En los gráficos primero y segundo “Número medio anual de operaciones en función de la industria (biotecnología, software-aplicaciones, bancos-regionales, software-infraestructura, diagnóstico-investigación, farmacéuticas, semiconductores, dispositivos médicos, maquinaria industrial y gestión de activos)”, el número medio anual de operaciones se mantiene semejante durante los cinco primeros años, entre 4,18 y 5,19, y los cuatro siguientes, entre 4,23 y 5,23.

En los gráficos segundo y tercero, “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la industria (biotecnología, software-aplicaciones, bancos-regionales, software-infraestructura, diagnóstico-investigación, farmacéuticas, semiconductores, dispositivos médicos, maquinaria industrial y gestión de activos)”, la rentabilidad media anual activa es similar, aunque algo mayor durante los cinco primeros años que en los cuatro siguientes, aunque no ocurre lo mismo en todas las industrias.

En los gráficos cuarto y quinto, “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función de la industria (biotecnología, software-aplicaciones, bancos-regionales, software-infraestructura, diagnóstico-investigación, farmacéuticas, semiconductores, dispositivos médicos, maquinaria industrial y gestión de activos)”, la rentabilidad media anual pasiva es algo menor durante los cinco primeros años comparado con los cuatro siguientes, aunque no ocurre lo mismo en todas las industrias.

Entre variables continuas y ellas mismas discretizadas:

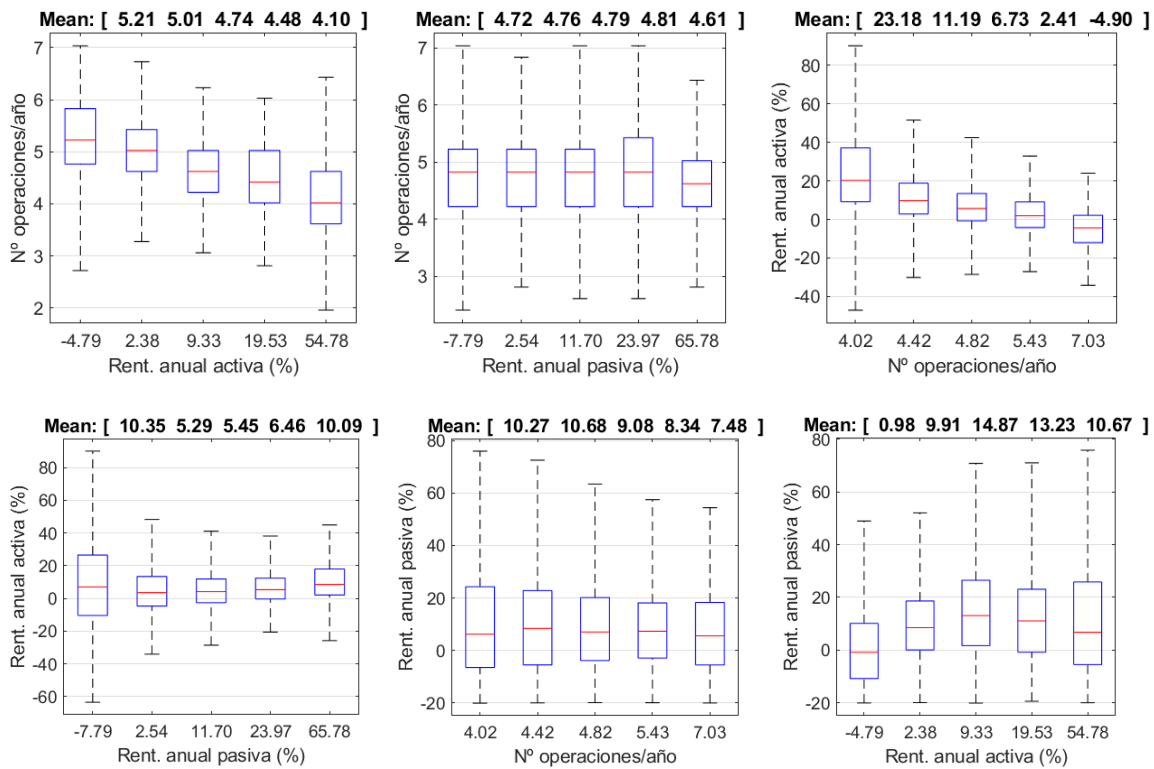


Figura 73: Relación entre variables y variables continuas discretizadas en los primeros cinco años

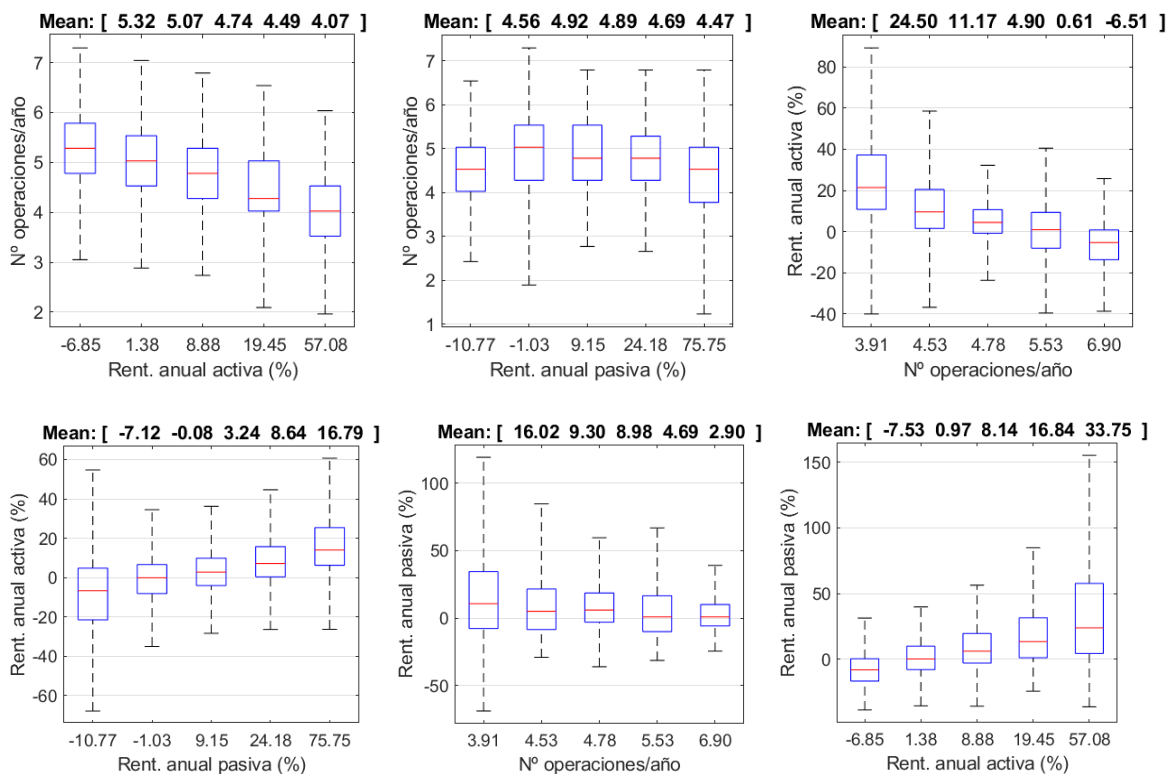


Figura 74: Relación entre variables continuas y variables continuas discretizadas en los cuatro años siguientes

Tanto en el primer gráfico de la Figura 73 como el de la Figura 74, “Número medio anual de operaciones en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual activa (%)”, como en el segundo gráfico de la Figura 73 como el de la Figura 74, “Número medio anual de operaciones en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual pasiva (%)”, como en el tercer gráfico de la Figura 73 como en el de la Figura 74, “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la variable continua discretizada Número medio anual de operaciones”, como en el quinto gráfico de la Figura 73 como en el de la Figura 74 “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función de la variable continua discretizada Número medio anual de operaciones”, se comprueba que la tendencia de los cinco primeros años es análoga a la de los cuatro siguientes.

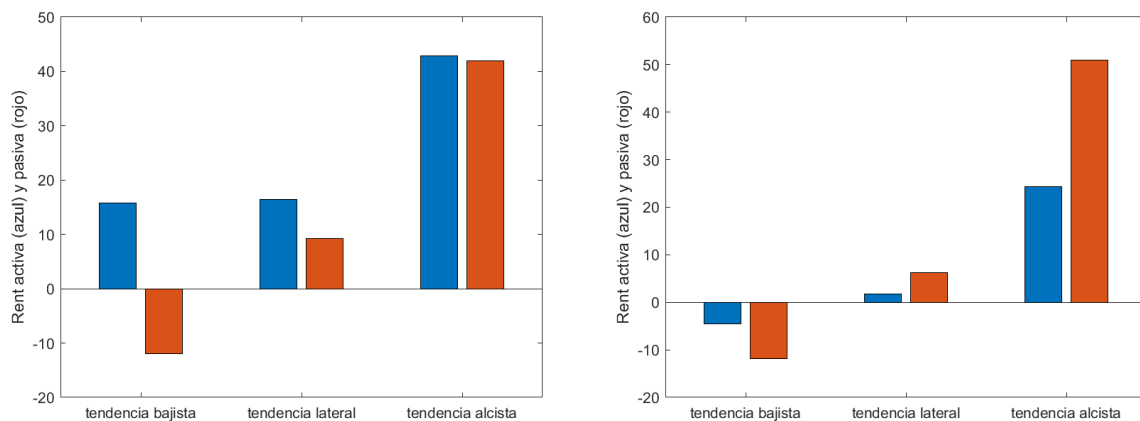
Tanto en el cuarto gráfico de la Figura 73 como el de la Figura 74, “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual pasiva (%)”, como en el sexto gráfico de la Figura 73 como el de la Figura 74, “Rentabilidad

media anual pasiva (%) en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual activa (%)", también la tendencia de los cinco primeros años es análoga a la de los cuatro siguientes, excepto en el último rango de la discretización donde tanto la rentabilidad anual activa como pasiva son mucho menores en los cinco primeros años que en los cuatro años siguientes.

4.3.3.2 Análisis para la optimización individual

En este caso se va a realizar un análisis comparando los resultados obtenidos en la optimización (los primeros 5 años) con los obtenidos los siguientes 4 años, para ver si hay persistencia en el tiempo. Para ello, en este apartado se va a utilizar una matriz que se ha optimizado los primeros 5 años de forma individual y se han mantenido dichos parámetros los siguientes 4 años. Es decir, tal y como se hizo en el segundo caso, en el que se obtuvo la combinación de parámetros óptima para cada acción.

En función de la tendencia:



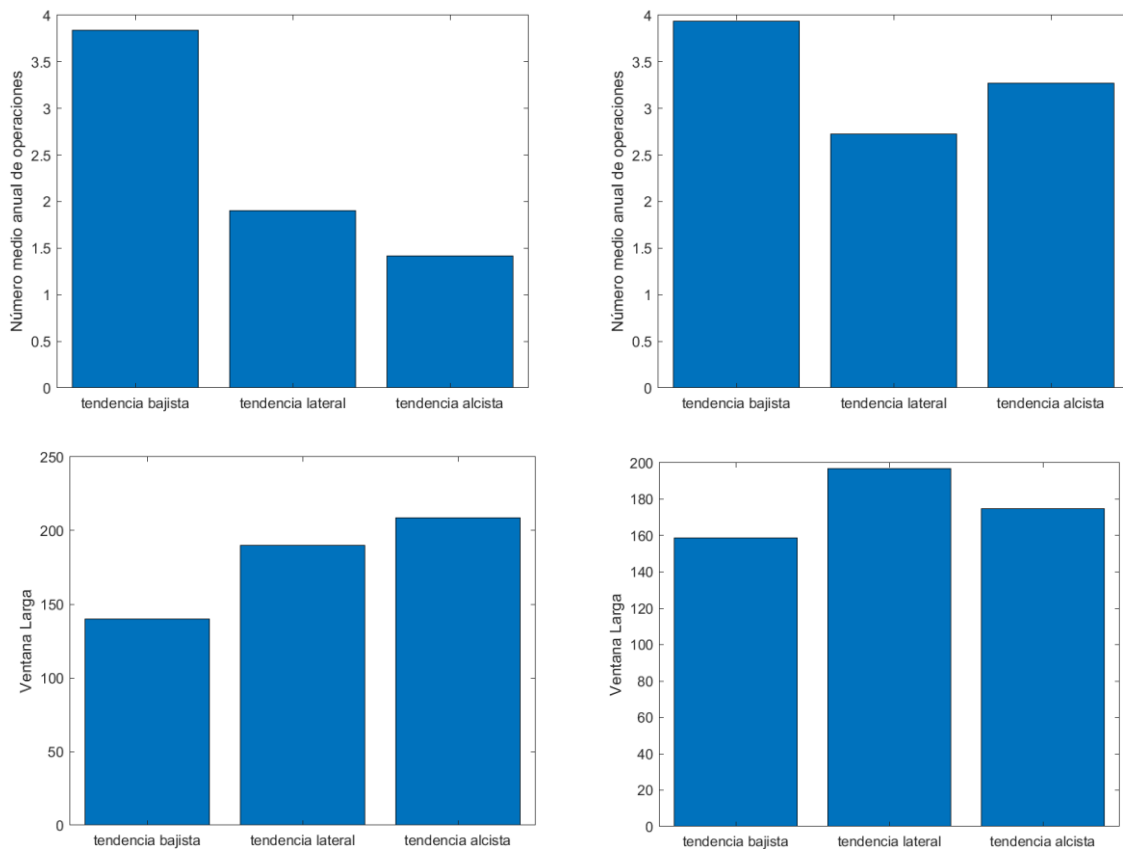


Figura 75: Relación de las rentabilidades, número medio anual de operaciones y ventana larga en función de la tendencia de la acción en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha)

Entre variables continuas y continuas:

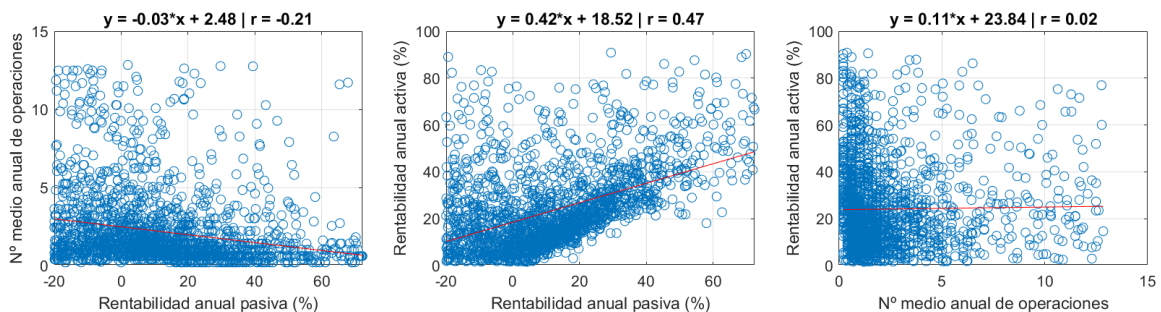


Figura 76: Relación durante los cinco primeros años entre variables continuas

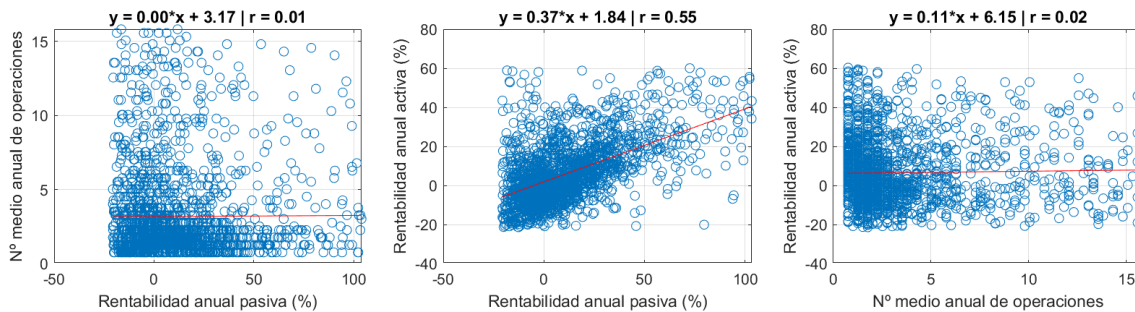


Figura 77: Relación los siguientes cuatro años entre variables continuas

En el primer gráfico de la Figura 76, cinco primeros años, como en el primer gráfico de la Figura 77, siguientes cuatro años, “Número medio anual de operaciones en función de la Rentabilidad media anual pasiva (%)”, se observa que, a medida que aumenta la rentabilidad media anual pasiva (%), disminuye el número medio anual de operaciones. Sin embargo, el coeficiente de correlación es mayor en los cinco primeros años ($r=-0,21$) siendo prácticamente nulo ($r=0,01$) en los cuatro años siguientes

En el segundo gráfico de la Figura 76, cinco primeros años, como en el segundo gráfico de la Figura 77, siguientes cuatro años, “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la Rentabilidad anual pasiva (%)” se observa que, a medida que aumenta la rentabilidad media anual pasiva (%), aumenta la rentabilidad anual activa (%). El coeficiente de correlación es alto tanto en los cinco primeros años ($r=0,47$) como en los siguientes cuatro años ($r=0,55$).

En el tercer gráfico de la Figura 76, cinco primeros años, como en el tercer gráfico de la Figura 77, siguientes cuatro años, “Rentabilidad media anual activa (%) en función del Número medio anual de operaciones” se observa que, a medida que aumenta el número medio de operaciones, aumenta, aunque mínimamente, la rentabilidad media anual activa (%). Esta conclusión tiene poca fuerza al ser los coeficientes de correlación muy bajos tanto en los cinco primeros años ($r=0,02$) como en los siguientes cuatro años ($r=0,02$).

Entre variables continuas y discretas

- Por mercado:

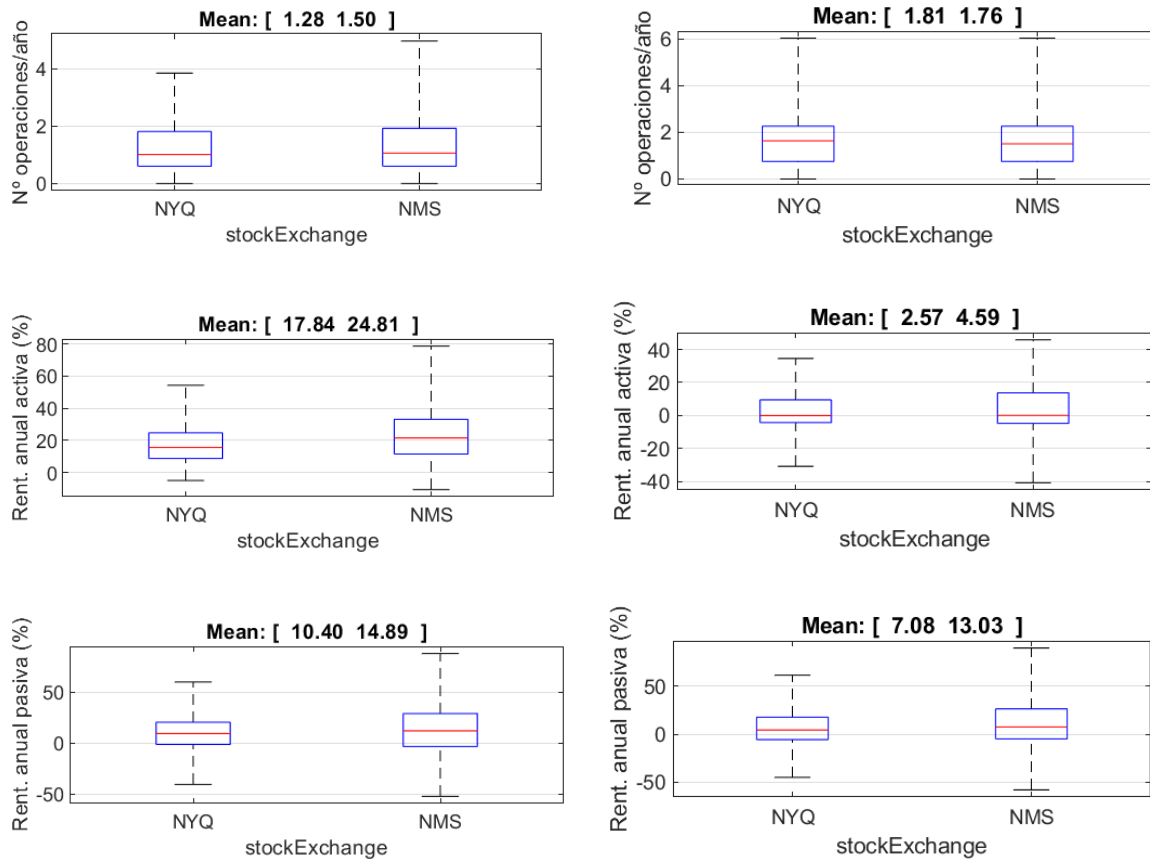


Figura 78: Relación entre variables continuas y la variable discreta en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha)

En los gráficos primero y segundo, “Número medio anual de operaciones en función del mercado, NYQ o NMS”, se ve que el número medio anual de operaciones es similar tanto en los cinco primeros años como en los cuatro siguientes, aunque es un poco más alta en este último caso.

En los gráficos segundo y tercero, “Rentabilidad media anual activa (%) en función del mercado, NYQ o NMS”, como en los gráficos cuarto y quinto, “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función del mercado, NYQ o NMS”, se observa que tanto la rentabilidad anual activa como la pasiva es mayor en la bolsa americana NASDAQ (índice NMS), que en la bolsa americana NYSE (índice NYQ). También se observa que las rentabilidades medias anuales activas son superiores a las pasivas en los cinco primeros años pero son inferiores en los cuatro siguientes.

- Por sectores:

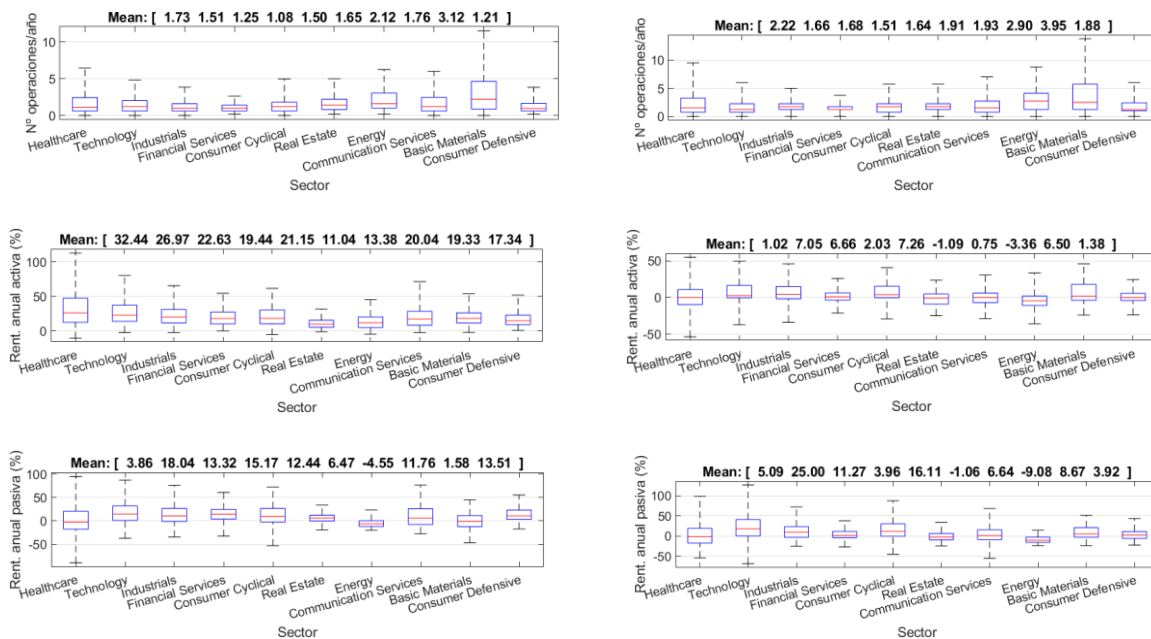


Figura 79: Relación entre variables continuas y la variable discreta, sector en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha)

En los gráficos primero y segundo “Número medio anual de operaciones en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, el número medio anual de operaciones se mantiene semejante durante los cinco primeros años, entre 1,08 y 3,12, y los cuatro siguientes, entre 1,51 y 3,95.

En los gráficos segundo y tercero, “Rentabilidad media anual activa (%) en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, la rentabilidad media anual activa es en todos los sectores superior a la rentabilidad media anual pasiva durante los cinco primeros años. Sin embargo, en los cuatro años siguientes es inferior en todos los sectores menos en uno, en el de la energía. Por lo que, en este caso, la estrategia no se mantiene en el tiempo.

En los gráficos cuarto y quinto, “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, la rentabilidad media anual pasiva, dependiendo del sector, es algo mayor o menor durante los cinco primeros años comparado con los cuatro siguientes.

- Por industrias:

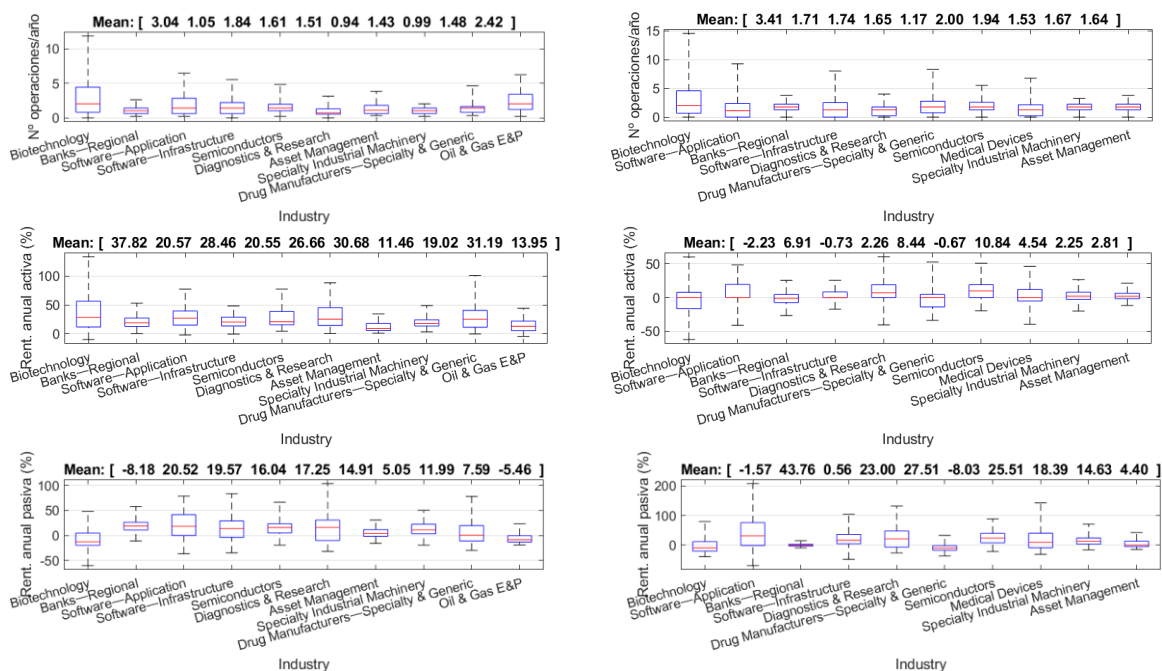


Figura 80: Relación entre variables continuas y la variable discreta, industria en los primeros cinco años (izquierda) y en los cuatro siguientes (derecha)

En los gráficos primero y segundo “Número medio anual de operaciones en función de la industria (biotecnología, software-aplicaciones, bancos-regionales, software-infraestructura, diagnóstico-investigación, farmacéuticas, semiconductores, dispositivos médicos, maquinaria industrial y gestión de activos)”, el número medio anual de operaciones se mantiene semejante durante los cinco primeros años, entre 0,94 y 3,04, y los cuatro siguientes, entre 1,17 y 3,413.

En los gráficos segundo y tercero, “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la industria (biotecnología, software-aplicaciones, bancos-regionales, software-infraestructura, diagnóstico-investigación, farmacéuticas, semiconductores, dispositivos médicos,

maquinaria industrial y gestión de activos)”, la rentabilidad media anual activa bastante mayor durante los cinco primeros años que en los cuatro siguientes.

En los gráficos cuarto y quinto, “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función de la industria (biotecnología, software-aplicaciones, bancos-regionales, software-infraestructura, diagnóstico-investigación, farmacéuticas, semiconductores, dispositivos médicos, maquinaria industrial y gestión de activos)”, la rentabilidad media anual pasiva, dependiendo de la industria es mayor o menor durante los cinco primeros años comparado con los cuatro siguientes.

Entre variables continuas y discretas (tipo de señal)

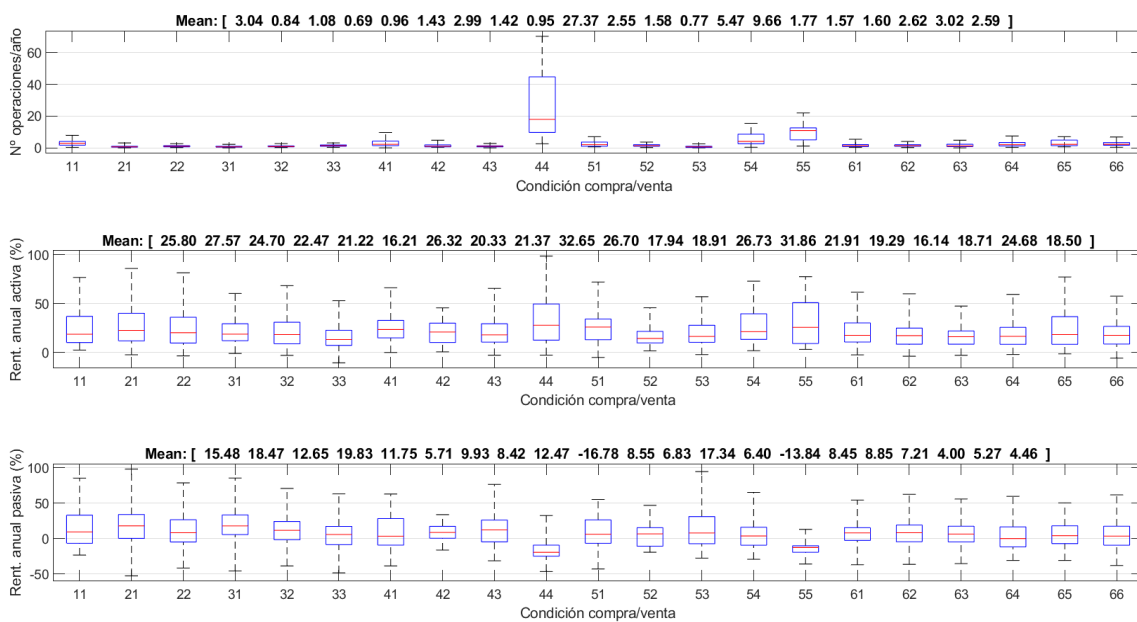
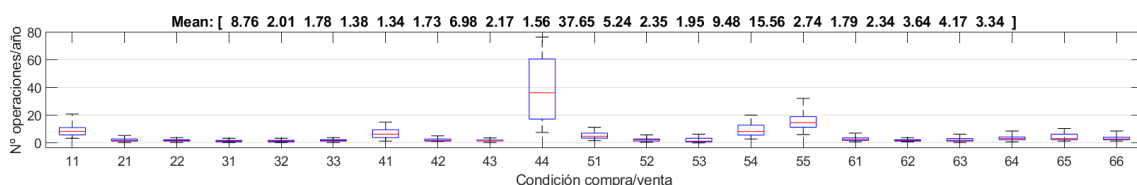


Figura 81: Relación en los cinco primeros años entre variables continuas y la variable discreta, señal, con la condición de compra o venta



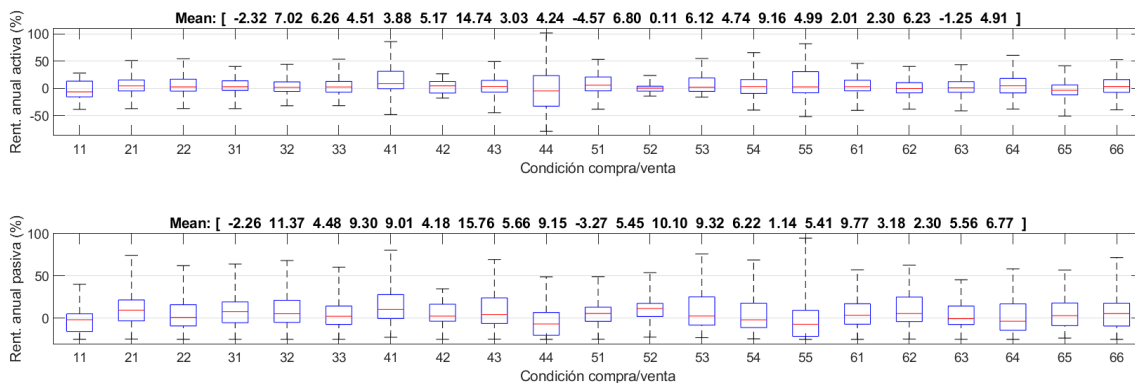


Figura 82: Relación en los cuatro años siguientes variables continuas y la variable discreta, señal, con la condición de compra o venta

En el primer gráfico “Número medio anual de operaciones en función de la señal” se observa que, tanto en los cinco primeros años como en los cuatro siguientes, los mayores números medios anuales de operaciones son los siguientes: 27,37 (cinco primeros años) / 37,65 (cuatro siguientes años) con la señal 44, es decir, se compra si $p_c/p_{mvc} > 1$ y se vende p_c/p_{mvc} si < 1 ; y 9,66 (cinco primeros años) / 15,56 (cuatro siguientes años) con la señal 55, es decir, se compra si $p_c/p_{mvi} > 1$ y se vende p_c/p_{mvi} si < 1 ;

En el segundo gráfico “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la señal” se observa que, en los cinco primeros años, las mayores rentabilidades medias anuales activas son las siguientes: 32,65% con la señal 44, es decir, se compra si $p_c/p_{mvc} > 1$ y se vende p_c/p_{mvc} si < 1 ; y 31,86% con la señal 55, es decir, se compra si $p_c/p_{mvi} > 1$ y se vende p_c/p_{mvi} si < 1 . En los siguientes cuatro años, las mayores rentabilidades medias anuales activas son las siguientes: 14,74% con la señal 41, es decir, se compra si tanto $p_c/p_{mvc} > 1$ como $p_c/p_{mvl} > 1$ y se vende si tanto $p_c/p_{mvc} < 1$ como $p_c/p_{mvl} < 1$; y 9,16% con la señal 55, es decir, se compra si $p_c/p_{mvi} > 1$ y se vende p_c/p_{mvi} si < 1 .

En el tercer gráfico “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función de la señal” se observa que, en los cinco primeros años, las mayores rentabilidades medias anuales pasivas son las siguientes: 19,83% con la señal 31, es decir, se compra si tanto $p_{mvi}/p_{mvl} > 1$ como $p_c/p_{mvl} > 1$ y se vende si tanto $p_{mvi}/p_{mvl} < 1$ como $p_c/p_{mvl} < 1$; y 18,47% con la señal 21, es decir, se compra si tanto $p_{mvc}/p_{mvl} > 1$ como $p_c/p_{mvl} > 1$ y se vende si tanto $p_{mvc}/p_{mvl} < 1$ como $p_c/p_{mvl} < 1$.

Entre variables continuas y ellas mismas discretizadas:

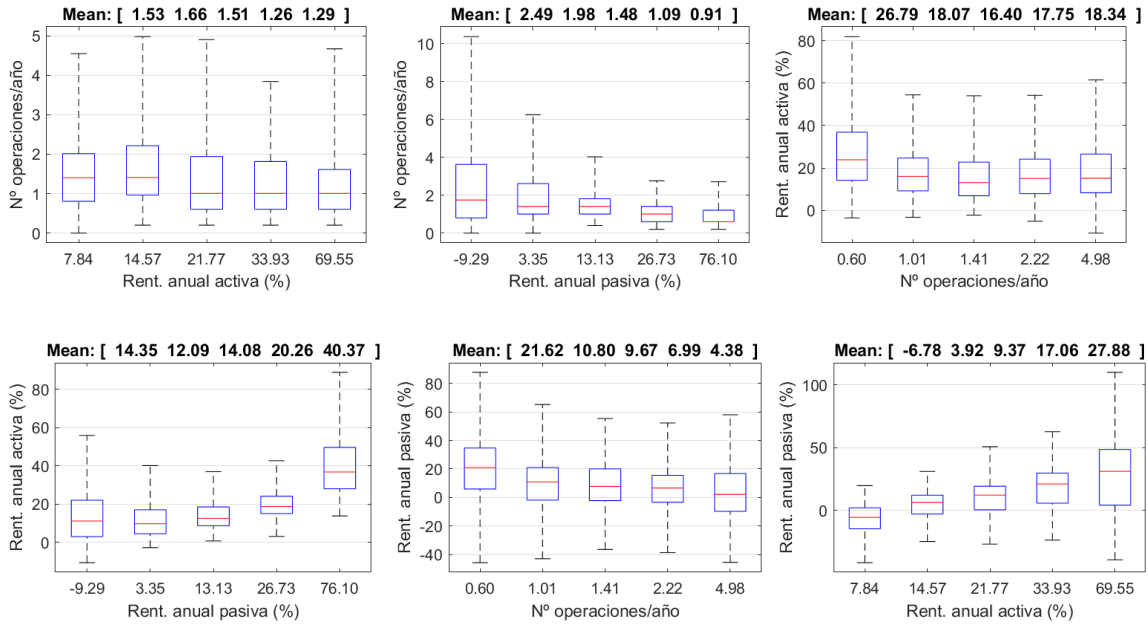


Figura 83: Relación durante los cinco primeros años entre variables y variables continuas discretizadas

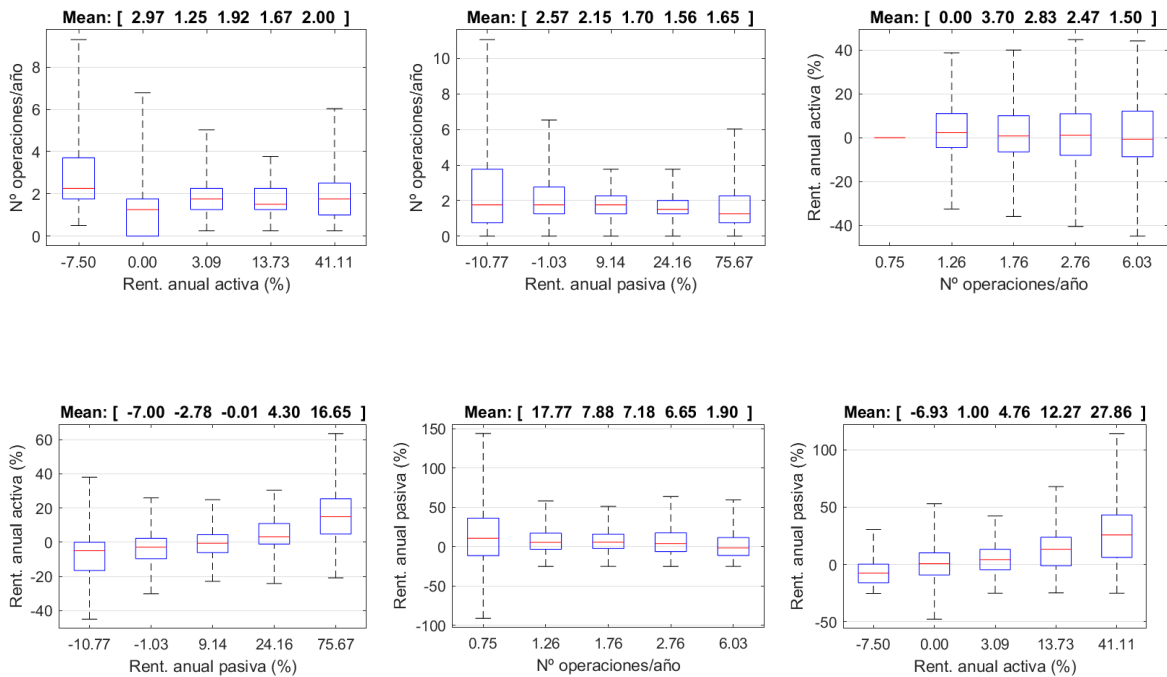


Figura 84: Relación durante los cuatro años siguientes entre variables continuas y variables continuas discretizadas

Tanto en el primer gráfico, “Número medio anual de operaciones en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual activa (%)”, como en el segundo, “Número medio anual de operaciones en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual pasiva (%)”, como en el tercero, “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la variable continua discretizada Número medio anual de operaciones”, como en la quinta “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función de la variable continua discretizada Número medio anual de operaciones”, se comprueba que, tanto en los cinco primeros años como en los cuatro siguientes, las rentabilidades medias anuales activas y pasivas aumentan a medida que disminuyen el número medio anual de operaciones. Esto está en línea con lo que ya se analizó anteriormente cuando se estudió la relación entre variables continuas y continuas.

En el cuarto gráfico, “Rentabilidad media anual activa (%) en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual pasiva (%)”, como en el sexto, “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función de la variable continua discretizada Rentabilidad media anual activa (%)”, se comprueba que, tanto en los cinco primeros años como en los cuatro siguientes, la rentabilidad media anual activa aumenta a medida que lo hace la rentabilidad media anual pasiva. Conclusión a la que ya se había llegado cuando se estudió la relación entre variables continuas y continuas.

4.4 CONCLUSIONES

En las siguientes tablas se resumen las principales conclusiones de este capítulo.

	Optimización de cada acción usando parámetros	
	Comunes	Individuales
Parámetros	ventana corta = 45, ventana media = 90, ventana larga = 180, señales de compra/venta = 1 y 3	ventana corta = múltiplos de 5 entre 5 y 75, ventana media = 2 x ventana corta, ventana larga = 4 x ventana corta, señales de compra/venta = 1, 2, 3, 4, 5 o 6 Predomina algo más (1,6% del total): ventana corta = 75, ventana media = 150, ventana larga = 300 señales de compra/venta = 3 y 2
Reinversión	No mejora la rentabilidad	Mejora la rentabilidad

Tabla 8: Parámetros utilizados y decisión de reinversión en función de la utilización de parámetros comunes o individuales

Como se puede comprobar en la tabla 8, la reinversión mejora la rentabilidad en el caso de optimización individual pero no en el caso de optimización común.

	Optimización de cada acción usando parámetros	
	Comunes	Individuales
Mercado (medias NYQ / NMS)		
- Número medio anual de operaciones	1,26 / 1,25	1,80 / 1,84
- Rentabilidad media anual activa (%)	5,30 / 7,04	21,32 / 31,31
- Rentabilidad media anual pasiva (%)	10,37 / 18,11	10,37 / 18,11
Sector (medias mínimo / máximo)		
- Número medio anual de operaciones	1,18 / 1,38	1,15 / 3,85
- Rentabilidad media anual activa (%)	-1,96 / 12,44	11,64 / 43,03
- Rentabilidad media anual pasiva (%)	-6,14 / 31,16	-6,14 / 31,16
Industria (medias mínimo / máximo)		
- Número medio anual de operaciones	1,06 / 1,48	1,11 / 3,16
- Rentabilidad media anual activa (%)	-2,67 / 21,93	15,84 / 60,33
- Rentabilidad media anual pasiva (%)	-3,65 / 44,88	-3,65 / 44,88
Señales de compra/venta (medias mínimo / máximo)		
- Número medio anual de operaciones		0,73 / 25,79
- Rentabilidad media anual activa (%)		16,09 / 52,85
- Rentabilidad media anual pasiva (%)		-8,78 / 21,56

Tabla 9: Resumen de resultados de número medio anual de operaciones, rentabilidad media anual activa y pasiva de la optimización de cada acción utilizando parámetros comunes o individuales

En la tabla 9 se observa que tanto utilizando parámetros comunes como individuales se obtienen mayores rentabilidades medias anuales tanto activas como pasivas en la bolsa

americana NASDAQ (NMS) que en la bolsa americana NYSE (índice NYQ), siendo además, superiores en el caso de los parámetros individuales. Desde el punto de vista de número medio anual de operaciones las cifras son similares en ambos mercados.

Desde el punto de vista de los sectores y de las industrias, se comprueba que las rentabilidades medias anuales activas y el número medio anual de operaciones son superiores cuando se utilizan los parámetros individuales en lugar de los comunes. Lógicamente las rentabilidades medias anuales pasivas son las mismas tanto utilizando los parámetros comunes como los individuales tanto para el mercado, para el sector o para la industria.

Cabe destacar que, en el caso de los parámetros individuales, la rentabilidad media anual activa máxima y mínima es siempre superior a la rentabilidad anual pasiva máxima y mínima, lo que indica que la estrategia basada en medias es capaz de superar a la estrategia pasiva. Sin embargo, usando los parámetros comunes, esto no siempre se cumple.

Finalmente, para los parámetros individuales, se muestra un resumen del número medio anual de operaciones y de las rentabilidades medias anuales activas y pasivas en función de las señales de compra/venta.

	Optimización de cada acción usando parámetros			
	Comunes		Individuales	
	Primeros 5 años	Siguientes 4 años	Primeros 5 años	Siguientes 4 años
Mercado (medias NYQ / NMS)				
- Número medio anual de operaciones	4,67 / 4,64	4,70 / 4,71	1,28 / 1,50	1,81 / 1,76
- Rentabilidad media anual activa (%)	5,95 / 9,03	5,63 / 7,02	17,84 / 24,81	2,57 / 4,59
- Rentabilidad media anual pasiva (%)	9,78 / 13,83	7,09 / 13,04	10,4 / 14,89	7,08 / 13,03
Sector (medias mínimo / máximo)				
- Número medio anual de operaciones	4,41 / 4,96	4,44 / 4,93	1,08 / 3,12	1,51 / 3,95
- Rentabilidad media anual activa (%)	-0,18 / 14,24	-0,33 / 16,14	11,04 / 32,44	-3,36 / 7,26
- Rentabilidad media anual pasiva (%)	-4,43 / 14,71	-9,09 / 25,02	-4,55 / 18,04	-9,08 / 25,00
Industria (medias mínimo / máximo)				
- Número medio anual de operaciones	4,18 / 5,19	4,23 / 5,23	0,94 / 3,04	1,17 / 3,41
- Rentabilidad media anual activa (%)	2,93 / 17,19	5,17 / 14,09	11,46 / 37,82	-2,23 / 10,84
- Rentabilidad media anual pasiva (%)	-5,63 / 18,68	-8,04 / 43,79	-8,18 / 20,52	-8,03 / 43,76
Señales de compra/venta (medias mínimo / máximo)				
- Número medio anual de operaciones			0,69 / 27,37	1,34 / 37,65
- Rentabilidad media anual activa (%)			16,14 / 32,65	-4,57 / 14,74
- Rentabilidad media anual pasiva (%)			-16,78 / 19,83	-3,27 / 15,76

Tabla 10: Resumen de resultados de número medio anual de operaciones, rentabilidad media anual activa y pasiva de la optimización de cada acción utilizando parámetros comunes o individuales y distinguiendo los cinco primeros años de los cuatro siguientes

En la tabla 10 se muestran los resultados obtenidos durante los cinco primeros años y los cuatro siguientes utilizando la estrategia con parámetros comunes o individuales.

Utilizando los parámetros comunes se aprecia que el número medio anual de operaciones, la rentabilidad media anual activa y la pasiva se mantienen semejantes tanto en los cinco primeros años como en los cuatro siguientes.

Sin embargo, utilizando los parámetros individuales se observa que la rentabilidad media anual activa es mucho mayor en el primer tramo, cinco primeros años, que, en el segundo, cuatro años siguientes. No existe tanta diferencia entre en la rentabilidad media anual pasiva. En cuanto al número medio anual de operaciones el ligeramente inferior en los cinco primeros años que en los cuatro siguientes.

Capítulo 5. PREDICCIÓN DE RENTABILIDADES FUTURAS MEDIANTE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

5.1 INTRODUCCIÓN

5.1.1 REDES NEURONALES

En este capítulo se va a analizar si el uso de redes neuronales combinándolo con la estrategia de medias móviles da rentabilidades que superen a la pasiva. Para ello se ha entrenado la red neuronal, con diferentes entradas, para que luego sea capaz de predecir la rentabilidad futura. La metodología usada es similar a la realizada en el capítulo anterior, es decir se ha optimizado, en este caso, los umbrales de compra y venta para obtener la mayor rentabilidad posible.

5.1.2 COMBINACIÓN DE LAS MEDIAS MÓVILES CON REDES NEURONALES

En este caso, se han usado dos tipos de redes neuronales, usando diferentes casos de metaparámetros, dando en total 12 casos diferentes. Para las entradas de las redes neuronales, se han utilizado los parámetros óptimos obtenidos en la optimización global de los valores que son los siguientes:

- Ventanas: [45 90 180]
- Señales: 1 (Pc/Pmvl) y la 3 (Pmvi/Pmvl)

Al ser las señales óptimas la 1 (Pc/Pmvl) y la 3 (Pmvi/Pmvl), la ventana corta no aporta nada, pero se ha utilizado para completar la información de entrada de la red neuronal.

Las dos redes neuronales usadas tienen la siguiente estructura:

Ventanas: 45 90 180

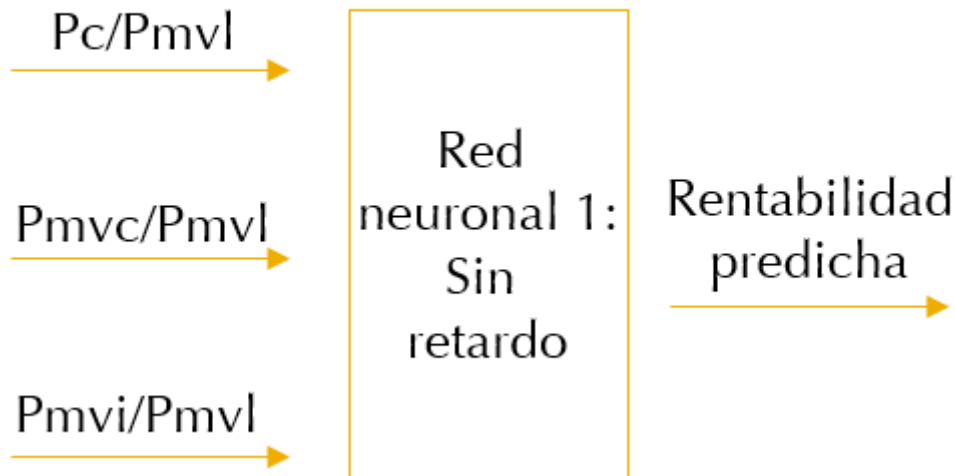


Figura 85: Red neuronal 1

Ventanas: 45 90 180

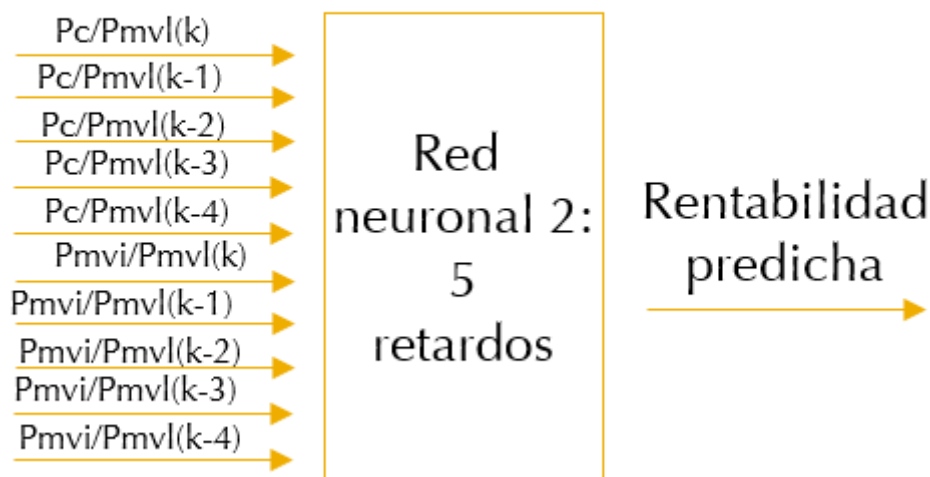


Figura 86: Red neuronal 2

Las variables que usa la red neuronal para predecir la rentabilidad son las siguientes:

- Las entradas, tal y como se han mostrado en las figuras de arriba, dando dos tipos de redes neuronales diferentes

- Meta parámetros de la red neuronal:
 - o Horizonte de predicción: puede tomar el valor 5 o 10, en el que se predice la rentabilidad a 5 o 10 días
 - o Número de neuronas: 5 o 10 neuronas

Una vez predicha la rentabilidad futura, para los diferentes casos, se optimiza para decidir los umbrales de compra y venta que darían la máxima rentabilidad posible.

5.2 CASOS DE OPTIMIZACIÓN

5.2.1 ANÁLISIS INICIAL SOBRE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS

Como se puede observar en la tabla 11, el caso óptimo de rentabilidad, optimizada de forma global es el caso 7, usando 5 retardos, 5 neuronas y 5 días para predecir la rentabilidad. En este caso, los umbrales óptimos son 0.5% y -0.25%. Esto quiere decir que cuando la rentabilidad predicha sea superior a 0.5% se realiza una compra y cuando sea menor a -0.25% se realiza una venta. Sin embargo, para el caso de optimización global, ninguna rentabilidad activa super a la pasiva.

Caso	Tipo de red neuronal	VENTANAS	HORIZONTE PREDICCIÓN	NEURONAS	RENTABILIDAD MEDIA MLP	RENTABILIDAD MEDIA B&H
1	1 retardo	45 90 180	5	5	7.45%	18.99%
2	1 retardo	45 90 180	5	10	11.85%	18.99%
3	1 retardo	45 90 180	5	15	7.29%	18.99%
4	1 retardo	45 90 180	10	5	6.43%	18.99%
5	1 retardo	45 90 180	10	10	6.16%	18.99%
6	1 retardo	45 90 180	10	15	7.01%	18.99%
7	5 retardos	45 90 180	5	5	14.18%	18.99%
8	5 retardos	45 90 180	5	10	13.26%	18.99%
9	5 retardos	45 90 180	5	15	12.72%	18.99%
10	5 retardos	45 90 180	10	5	10.46%	18.99%
11	5 retardos	45 90 180	10	10	10.12%	18.99%
12	5 retardos	45 90 180	10	15	10.25%	18.99%

Tabla 11: Resumen de los 12 casos de optimización de forma global

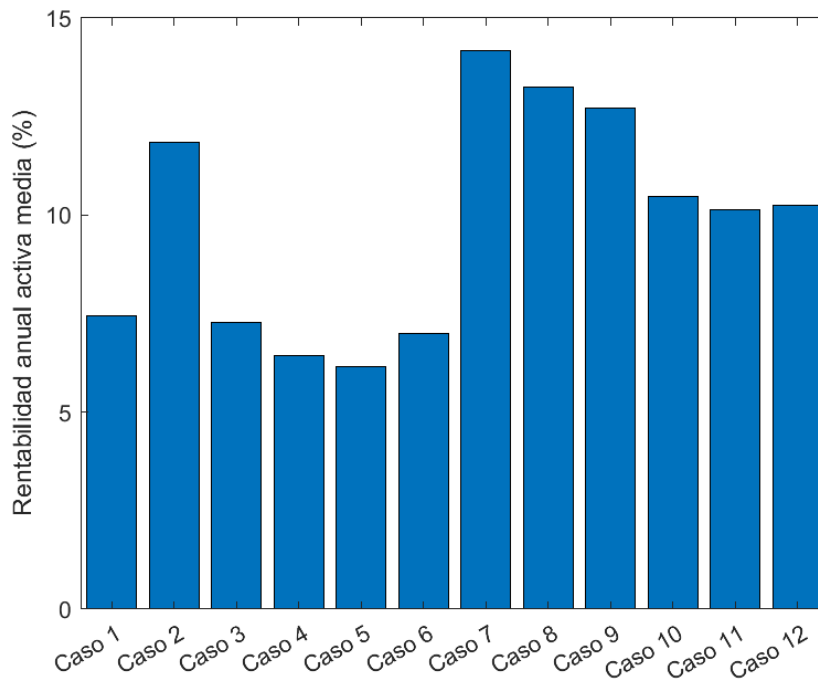


Figura 87: Rentabilidad anual activa media en función de los casos de optimización

5.2.2 OPTIMIZACIÓN GLOBAL PARA TODOS LOS VALORES

En esta sección se va a realizar un análisis de la optimización en el caso con rentabilidad activa mayor (caso 7) en función de la tendencia de la acción y del sector. En esta sección se ha realizado con la optimización global comentada en el apartado anterior.

5.2.2.1 Análisis en función de la tendencia

Como se viene haciendo en capítulos anteriores, se ha dividido en tres grupos en función de la rentabilidad pasiva, agrupándolos en tendencia bajista, lateral y alcista. Los resultados se muestran a continuación:

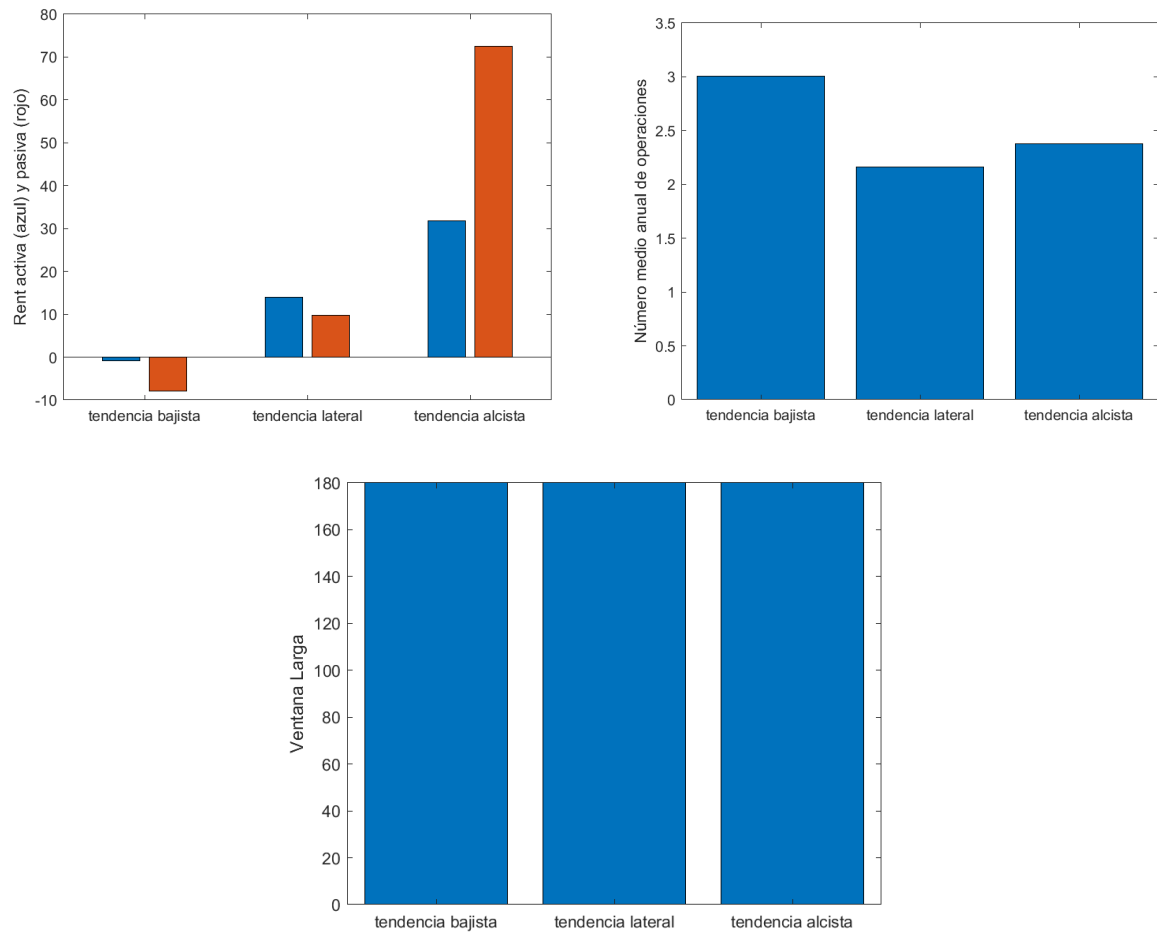


Figura 88: Relación de las rentabilidades, número medio anual de operaciones y ventana larga en función de la tendencia de la acción

En el caso de optimización global de las redes neuronales, se puede observar que la rentabilidad activa mejora para la tendencia bajista y lateral con respecto a la rentabilidad pasiva. Para el caso de la tendencia bajista, aunque la rentabilidad activa mejora a la pasiva, esta sigue siendo negativa, por lo que el uso de la red neuronal no sería beneficioso. Para el caso de la tendencia alcista, la rentabilidad activa es bastante inferior a la pasiva, por lo que, para este caso, el uso de redes neuronales tampoco sería beneficioso. Por lo tanto, la única situación en la que la rentabilidad activa mejora a la pasiva, siendo la activa positiva, es en el caso de la tendencia lateral.

En el caso de tendencia bajista es cuando se realizan mayor número de operaciones, reduciéndose para la tendencia lateral y alcista.

La ventana, en este caso, es constante, ya que es una entrada fija a la red neuronal.

5.2.2.2 Análisis en función del sector

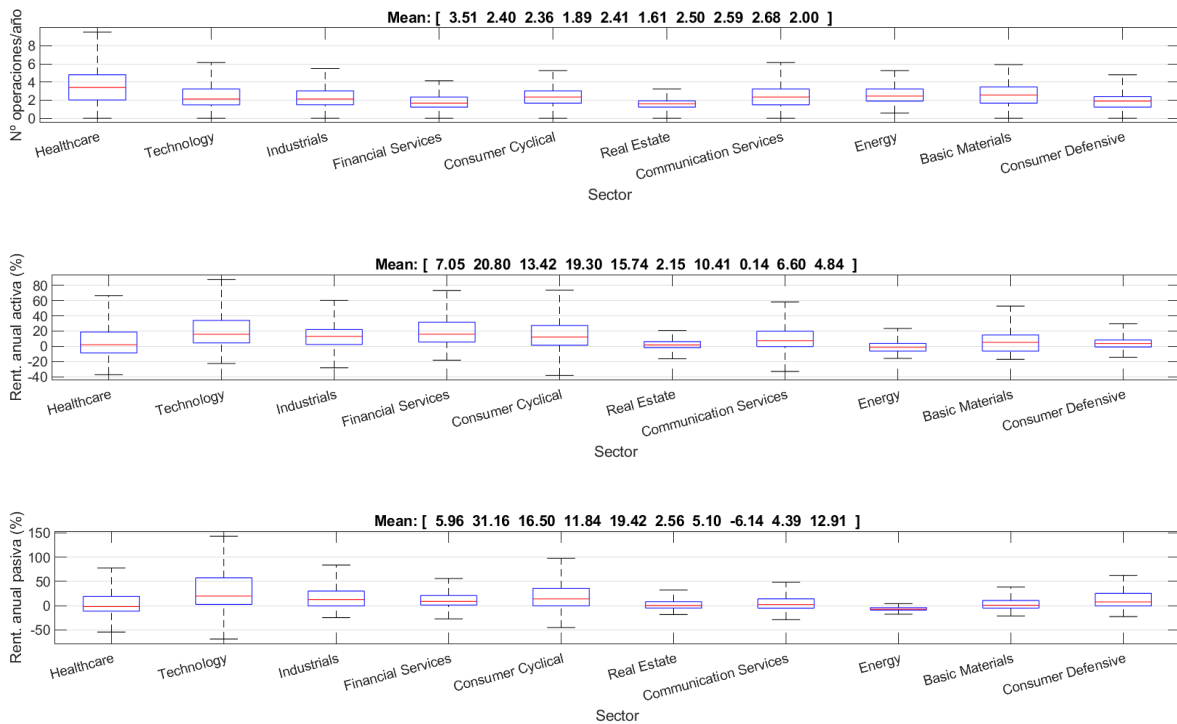


Figura 89: Relación entre variables continuas y la variable discreta, sector

En el primer gráfico “Número medio anual de operaciones en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, el número medio anual de operaciones varía entre un valor mínimo de 1,61 en el sector inmobiliario y 3,51 en el sector salud. En este sector es también donde hay una mayor dispersión.

En el segundo gráfico “Rentabilidad media anual activa (%) en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, la rentabilidad media anual activa varía entre un valor mínimo de -6,14% en el sector energético y un valor máximo de 31,16% en el sector tecnológico.

defensivos)”, la rentabilidad media anual activa va desde el 0,14% en el sector energía hasta el 20,80% en el sector tecnología.

En el tercer gráfico “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, la rentabilidad media anual pasiva va desde -6,14% en el sector de la energía hasta el 31,16% en el sector de la tecnología.

La rentabilidad media anual activa es superior a la rentabilidad media anual pasiva en los siguientes sectores: salud (7,05% de rentabilidad activa vs 5,96% de rentabilidad pasiva), servicios financieros (19,30% de rentabilidad activa vs 11,84% de rentabilidad pasiva), servicios de comunicación (10,41% de rentabilidad activa vs 5,10% de rentabilidad pasiva), energía (0,14% de rentabilidad activa vs -6,14% de rentabilidad pasiva), materiales básicos (6,60% de rentabilidad activa vs 4,39% de rentabilidad pasiva).

Sin embargo, la rentabilidad media anual activa es inferior a la rentabilidad media anual pasiva en los siguientes sectores: tecnología (20,80% de rentabilidad activa vs 31,16% de rentabilidad pasiva), industrial (13,42% de rentabilidad activa vs 16,50% de rentabilidad pasiva), consumo cíclico (15,74% de rentabilidad activa vs 19,42% de rentabilidad pasiva), inmobiliario (2,15% de rentabilidad activa vs 2,56% de rentabilidad pasiva) y bienes de consumo anticíclicos o defensivos (4,84% de rentabilidad activa vs 12,91% de rentabilidad pasiva).

Por lo tanto, los sectores en los que la rentabilidad activa supera a la pasiva son los siguientes: salud, servicios financieros, servicios de comunicación, energía y materiales básicos.

5.2.3 OPTIMIZACIÓN DE CADA VALOR DE FORMA INDIVIDUAL

En esta segunda parte, se ha realizado el análisis con el mismo conjunto de meta parámetros con los que se obtiene la rentabilidad media anual óptima para el caso óptimo global, pero se ha optimizado de forma individual. En este caso, la rentabilidad activa anual media es de 47,46% vs. 18,99% de rentabilidad pasiva. Por lo que, usando este método, se consigue mejorar considerablemente a la rentabilidad pasiva.

A continuación, se va a realizar el análisis en función de la tendencia de la acción y del sector.

5.2.3.1 Análisis en función de la tendencia

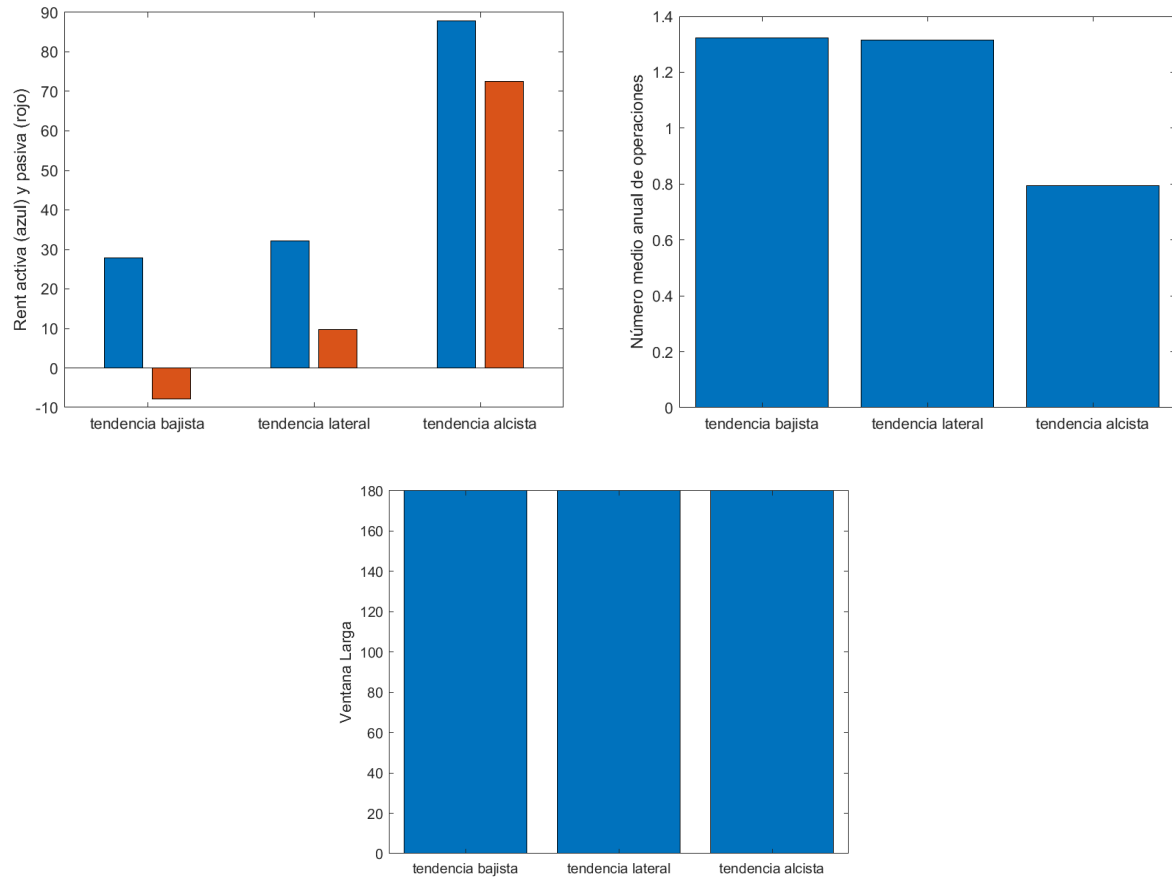


Figura 90: Relación de las rentabilidades, número medio anual de operaciones y ventana larga en función de la tendencia de la acción

En el caso de optimización individual de las redes neuronales, se puede observar que, en todos los casos de tendencia, la rentabilidad activa supera a la pasiva. El número de operaciones disminuye para la tendencia alcista.

Al igual que en el caso anterior, la ventana se mantiene constante, ya que es una entrada fija a la red neuronal.

5.2.3.2 Análisis en función del sector

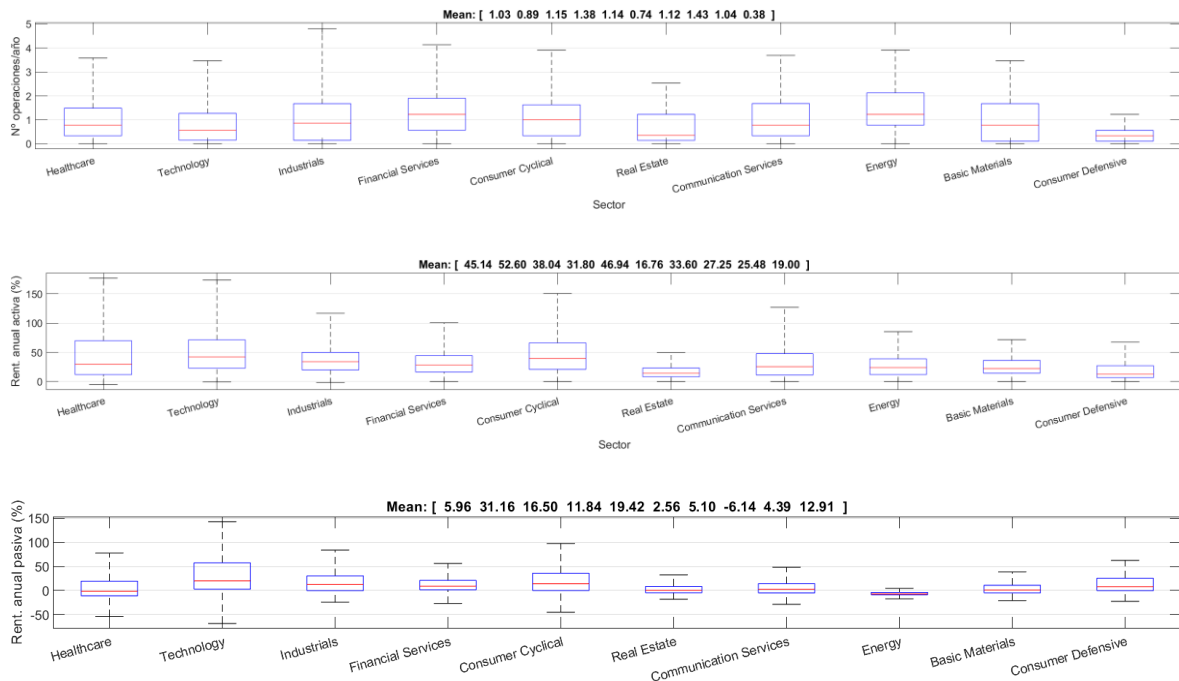


Figura 91: Relación entre variables continuas y la variable discreta, sector

En el primer gráfico “Número medio anual de operaciones en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, el número medio anual de operaciones varía entre un valor mínimo de 0,38 en el sector de consumo anticíclicos o defensivos y 1,43 en el sector energía.

En el segundo gráfico “Rentabilidad media anual activa (%) en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, la rentabilidad media anual activa va desde el 16,76% en el sector inmobiliario hasta el 52,60% en el sector tecnología.

En el tercer gráfico “Rentabilidad media anual pasiva (%) en función del sector (salud, tecnología, industria, servicios financieros, bienes de consumo cíclicos, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y bienes de consumo anticíclicos o defensivos)”, la rentabilidad media anual pasiva va desde -6,14% en el sector de la energía

hasta el 31,16% en el sector de la tecnología. Esto era de esperar, tal y como ocurría en los casos anteriores.

La rentabilidad media anual activa es superior a la rentabilidad media anual pasiva en todos los sectores: salud (45,14% de rentabilidad activa vs 5,96% de rentabilidad pasiva), tecnología (52,60% de rentabilidad activa vs 31,16% de rentabilidad pasiva), industria (38,04% de rentabilidad activa vs 16,50% de rentabilidad pasiva), servicios financieros (31,80% de rentabilidad activa vs 11,84% de rentabilidad pasiva), bienes de consumo cíclico (46,94% de rentabilidad activa vs 19,42% de rentabilidad pasiva), inmobiliario (16,76% de rentabilidad activa vs 2,56% de rentabilidad pasiva), servicios de comunicación (33,60% de rentabilidad activa vs 5,10% de rentabilidad pasiva), energía (27,25% de rentabilidad activa vs -6,14% de rentabilidad pasiva), materiales básicos (25,48% de rentabilidad activa vs 4,39% de rentabilidad pasiva) y bienes de consumo anticíclicos o defensivos (19,00% de rentabilidad activa vs 12,91% de rentabilidad pasiva). Por tanto, en los diez sectores es recomendable utilizar la estrategia de inversión en lugar de la pasiva.

Capítulo 6. COMPARACIÓN DE ESTRATEGIAS

6.1 INTRODUCCIÓN

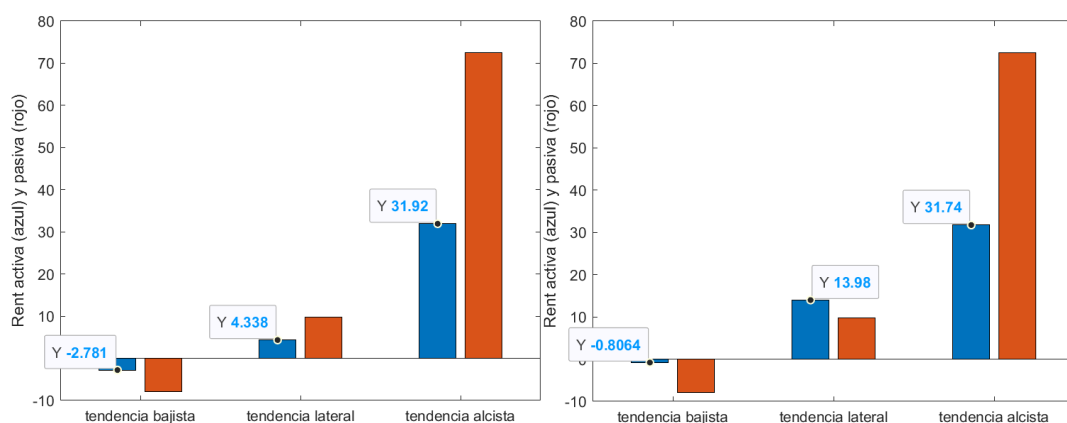
En este capítulo se va a realizar una comparación de las estrategias estudiadas en el capítulo 4 y 5 para decidir qué estrategia sería la óptima a seguir. Para ello, se va a analizar:

- (i) Las dos estrategias de optimización global (la optimizada con el método de medias móviles y la optimizada mediante redes neuronales)
- (ii) Las dos estrategias de optimización individual (la optimizada con el método de medias móviles y la optimizada mediante redes neuronales)

6.1.1 COMPARACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE OPTIMIZACIÓN GLOBAL

En esta sección se va a comparar la estrategia optimizada de forma global con el método de medias móviles y la optimizada mediante redes neuronales:

6.1.1.1 Comparativa en función de la tendencia



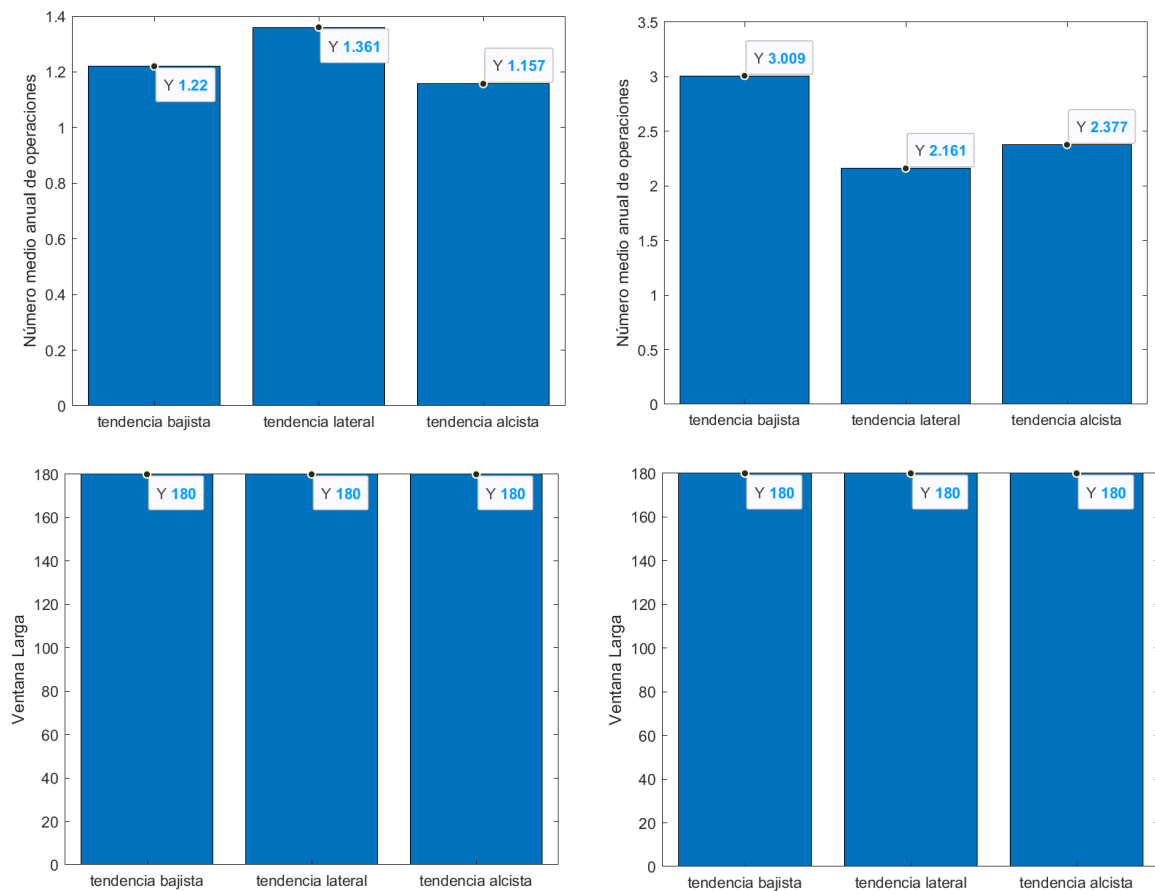


Figura 92: Comparación de las estrategias de optimización global en función de la tendencia (izquierda: método de medias móviles / derecha: redes neuronales)

En la Figura 92 se puede ver la comparación de las dos estrategias de inversión optimizadas de forma global (izquierda: método de medias móviles / derecha: redes neuronales) en función de la tendencia. Para la tendencia bajista y lateral, se puede comprobar claramente que la rentabilidad activa media anual es superior en el caso de redes neuronales. Además, en el caso de la tendencia lateral, la rentabilidad activa usando redes neuronales, supera a la pasiva.

En el caso de tendencia alcista, la rentabilidad activa media anual es muy similar en ambas estrategias, sin embargo, no supera a la rentabilidad pasiva.

Por lo tanto, se puede concluir que el uso de redes neuronales es mejor que el método tradicional de medias móviles tanto para la tendencia bajista y lateral, mejorando a la pasiva

en ambos casos (aunque en la tendencia bajista, la rentabilidad sigue siendo negativa). Para el caso de tendencia alcista, lo mejor es usar la estrategia pasiva.

En cuanto al número de operaciones, se puede comprobar que con el uso de redes neuronales se realizan más operaciones.

6.1.1.2 Comparativa en función del sector

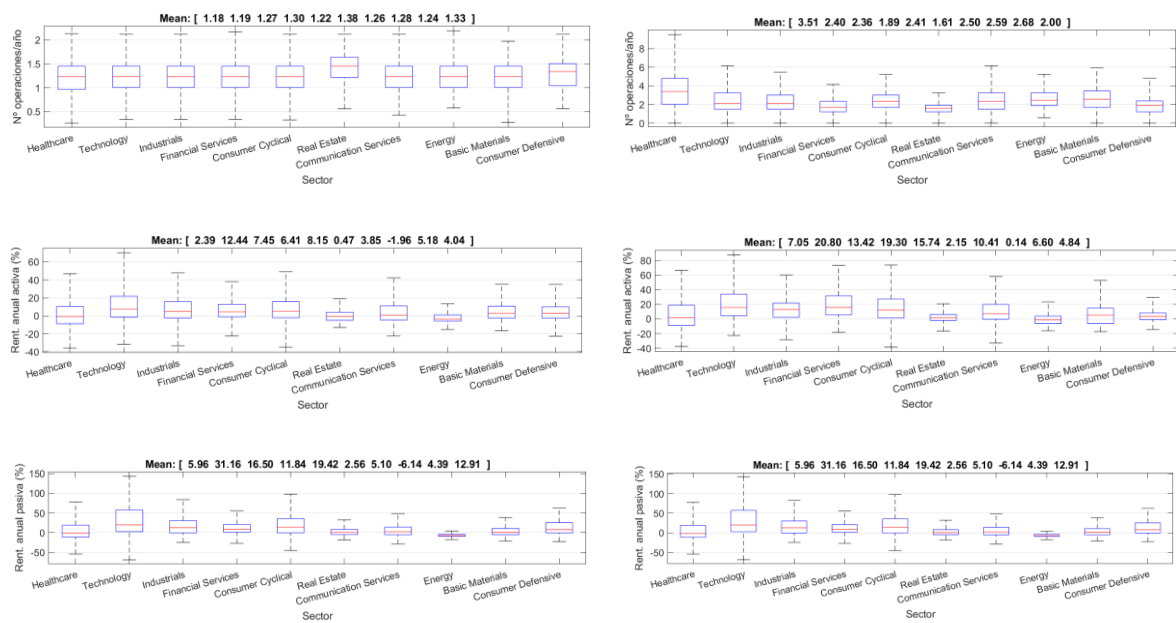


Figura 93: Comparación de las estrategias de optimización global en función del sector (izquierda: método de medias móviles / derecha: redes neuronales)

En la Figura 93 se puede ver la comparación de las dos estrategias de inversión optimizadas de forma global (izquierda: método de medias móviles / derecha: redes neuronales) en función del sector. Se puede comprobar que, en todos los sectores, la rentabilidad activa es superior con el uso de redes neuronales que con el método tradicional de medias móviles. Sin embargo, no en todos los casos se consigue superar a la rentabilidad pasiva.

La rentabilidad media anual activa es superior a la rentabilidad media anual pasiva en los siguientes sectores: salud (7,05% de rentabilidad activa vs 5,96% de rentabilidad pasiva), servicios financieros (19,30% de rentabilidad activa vs 11,84% de rentabilidad pasiva), servicios de comunicación (10,41% de rentabilidad activa vs 5,10% de rentabilidad pasiva),

energía (0,14% de rentabilidad activa vs -6,14% de rentabilidad pasiva), materiales básicos (6,60% de rentabilidad activa vs 4,39% de rentabilidad pasiva).

Sin embargo, la rentabilidad media anual activa es inferior a la rentabilidad media anual pasiva en los siguientes sectores: tecnología (20,80% de rentabilidad activa vs 31,16% de rentabilidad pasiva), industrial (13,42% de rentabilidad activa vs 16,50% de rentabilidad pasiva), consumo cíclico (15,74% de rentabilidad activa vs 19,42% de rentabilidad pasiva), inmobiliario (2,15% de rentabilidad activa vs 2,56% de rentabilidad pasiva) y bienes de consumo anticíclicos o defensivos (4,84% de rentabilidad activa vs 12,91% de rentabilidad pasiva).

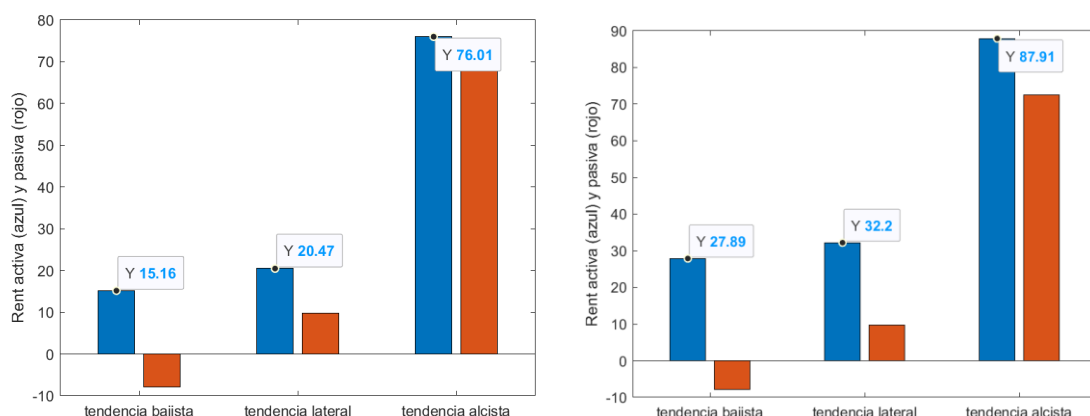
Por lo tanto, en el caso de estrategia de optimización global, lo conveniente es el uso de redes neuronales para los sectores: salud, servicios financieros, servicios de comunicación, energía y materiales básicos.

Para el resto de sectores: tecnología, industrial, consumo cíclico, inmobiliario y bienes de consumo anticíclicos o defensivos, lo mejor sería hacer uso de la estrategia pasiva.

6.1.2 COMPARACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE OPTIMIZACIÓN INDIVIDUAL

En esta sección se va a comparar la estrategia optimizada de forma individual con el método de medias móviles y la optimizada mediante redes neuronales

6.1.2.1 Comparativa en función de la tendencia



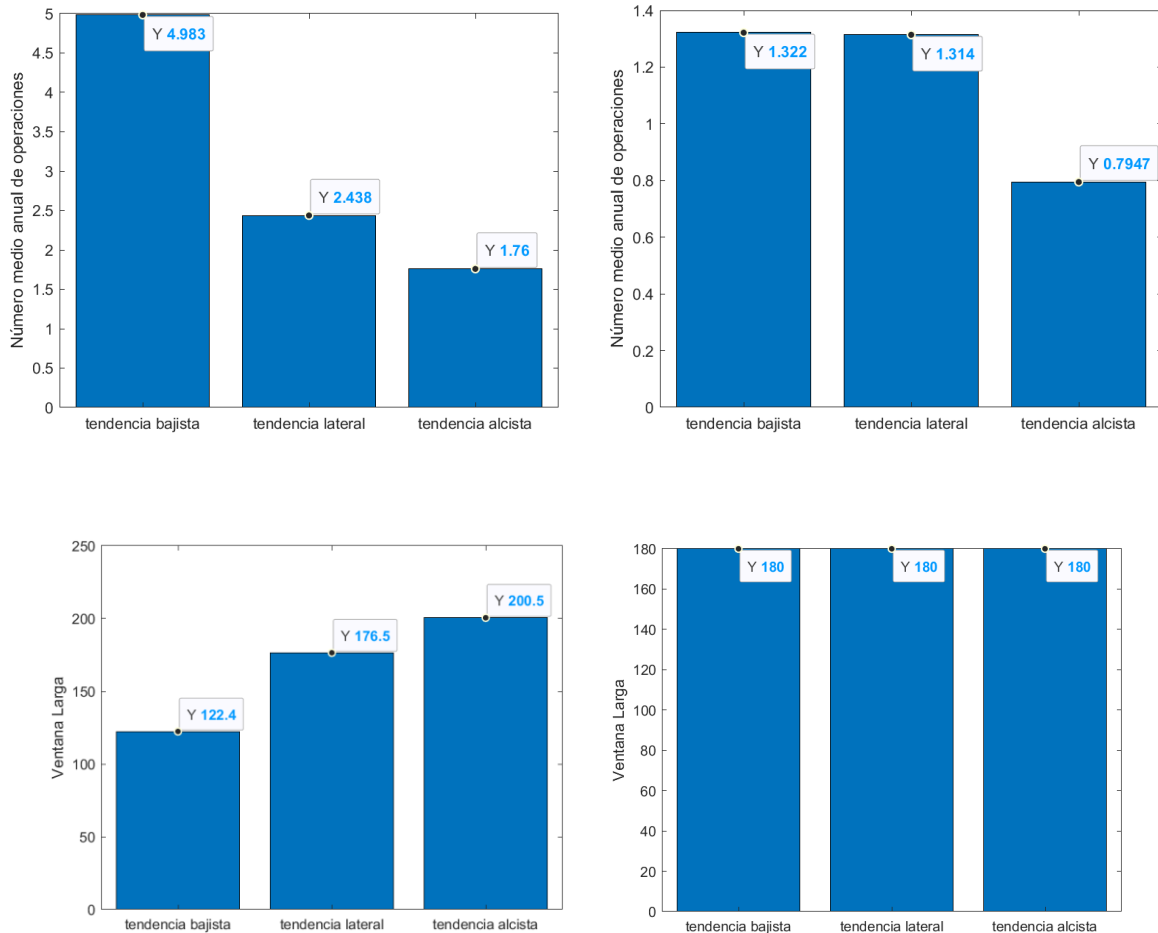


Figura 94: Comparación de las estrategias de optimización individual en función de la tendencia (izquierda: método de medias móviles / derecha: redes neuronales)

En la Figura 94 se puede ver la comparación de las dos estrategias de inversión optimizadas de forma individual (izquierda: método de medias móviles / derecha: redes neuronales) en función de la tendencia. Se puede observar que la rentabilidad activa supera a la pasiva, tanto con la estrategia de medias móviles optimizada tradicional como con el uso de redes neuronales. Sin embargo, el uso de redes neuronales da una rentabilidad activa superior que con el uso tradicional para los tres tipos de tendencia.

Por lo tanto, se puede concluir que el uso de redes neuronales es mejor que el método tradicional de medias móviles para los tres tipos de tendencia y que además en todos los casos se consigue superar a la rentabilidad pasiva.

En cuanto al número de operaciones, se puede comprobar que con el uso de redes neuronales se realizan menos operaciones.

6.1.2.2 Comparativa en función del sector

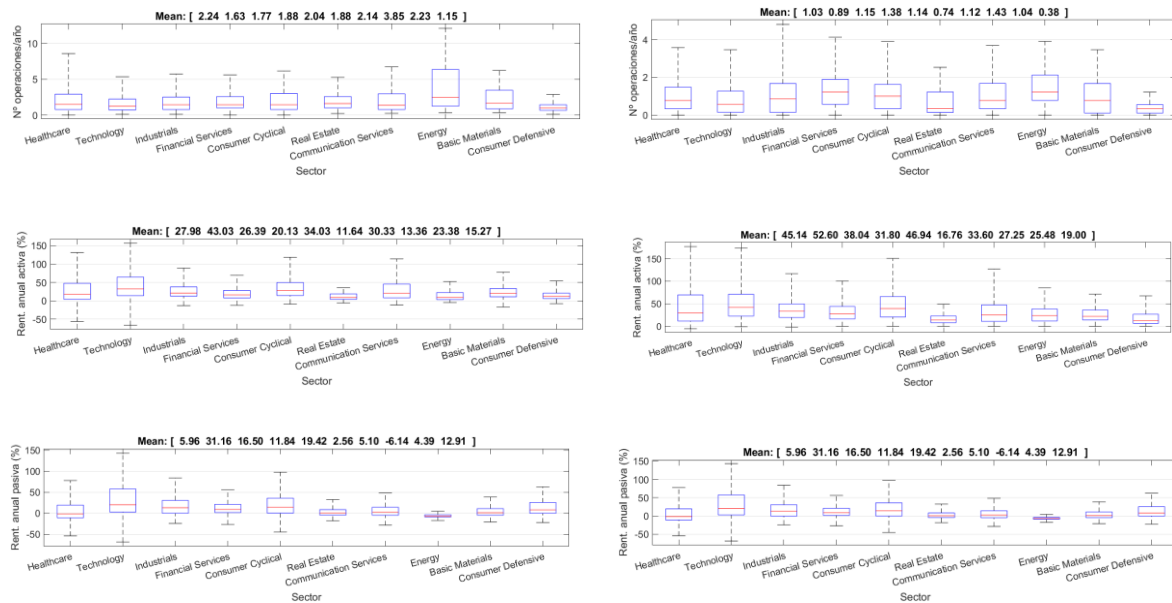


Figura 95: Comparación de las estrategias de optimización individual en función del sector (izquierda: método de medias móviles / derecha: redes neuronales)

En la Figura 95 se puede ver la comparación de las dos estrategias de inversión optimizadas de forma individual (izquierda: método de medias móviles / derecha: redes neuronales) en función del sector. Se puede comprobar que, en todos los sectores, la rentabilidad activa es superior con el uso de redes neuronales que con el método tradicional de medias móviles. Además, en todos los casos se consigue superar a la rentabilidad pasiva.

La rentabilidad media anual activa es superior a la rentabilidad media anual pasiva en todos los sectores: salud (45,14% de rentabilidad activa vs 5,96% de rentabilidad pasiva), tecnología (52,60% de rentabilidad activa vs 31,16% de rentabilidad pasiva), industria (38,04% de rentabilidad activa vs 16,50% de rentabilidad pasiva), servicios financieros (31,80% de rentabilidad activa vs 11,84% de rentabilidad pasiva), bienes de consumo cíclico (46,94% de rentabilidad activa vs 19,42% de rentabilidad pasiva), inmobiliario (16,76% de rentabilidad activa vs 2,56% de rentabilidad pasiva), servicios de comunicación (33,60% de

rentabilidad activa vs 5,10% de rentabilidad pasiva), energía (27,25% de rentabilidad activa vs -6,14% de rentabilidad pasiva), materiales básicos (25,48% de rentabilidad activa vs 4,39% de rentabilidad pasiva) y bienes de consumo anticíclicos o defensivos (19,00% de rentabilidad activa vs 12,91% de rentabilidad pasiva). Por tanto, en los diez sectores es recomendable utilizar la estrategia de inversión en lugar de la pasiva.

Por lo tanto, para el caso de optimización individual, el uso de redes neuronales sería la mejor estrategia a usar, superando en todos los casos a la rentabilidad pasiva.

Capítulo 7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Los resultados finales se pueden resumir en la siguiente tabla:

	Rent. Anual pasiva	Método tradicional de medias	Redes neuronales
Optimización global	18.99%	9.25%	14.18%
Optimización individual	18.99%	34.71%	47.46%

Tabla 12: Resumen comparativo de las tres estrategias

Después de analizar los resultados capítulo por capítulo y comparando las estrategias, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

1. Con la optimización individual se consiguen rentabilidades superiores a las obtenidas con la optimización global (tal y como era de esperar).
2. En el caso de optimización global, algunos resultados perduran en el tiempo, mientras que en el caso de optimización individual, no perduran.
3. Las redes neuronales consiguen superar al método clásico basado en cruces de medias móviles y al método pasivo en el caso de optimización individual. En el caso de optimización global, el uso de redes neuronales, supera al método pasivo en algunos casos.

Como trabajo futuro que se puede realizar, para poder completar la información y las conclusiones obtenidas en este trabajo, sería analizar la persistencia en el tiempo mediante el uso de redes neuronales, ya que se ha demostrado que dicha estrategia supera a la clásica basada en el cruce de medias móviles. Además también se podría analizar más redes neuronales con diferentes entradas / parámetros y combinarlas con otros indicadores.

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

Achelis, S. (2014). Technical analysis from A to Z. McGraw-Hill Education.

Ahmad, M. I., Guohui, W., Rafiq, M. Y., Hasan, M., Chohan, A. & Sattar, A. (2017). Assesing Performance of Moving Average Investment Timing Strategy Over the UK Stock Market, publicado en 01/2017.

Amini, S., Hudson, R., Urquhart, A. & Wang, J. (2021). Nonlinearity everywhere: implications for empirical finance, technical analysis and value at risk publicado el 19/03/2021.

AtriaInnovation (2019). ¿Qué son las redes neuronales y sus funciones?, publicado el 22/10/2019. Disponible en: <https://www.atriainnovation.com/que-son-las-redes-neuronales-y-sus-funciones/>

Ballesteros, A. & Domínguez, E. (2020). Tutorial introducción a las redes neuronales. Disponible en: <https://www.redes-neuronales.com.es/tutorial-redes-neuronales/tutorial-redes.htm>

Brock, W., Lakonishok, J., LeBaron, B. (1991). Simple Technical Trading Rules and the Stochastic Properties of Stock Returns publicado en 01/1991.

Broker Online (2020). Bolsas y Mercados Españoles, publicado el 18/09/2020. Disponible en: <https://www.brokeronline.es/bolsas-mercados-espana>

Broseta, A (2020). Principales bolsas de valores del mundo y sus indicadores, publicado el 8/11/2020. Disponible en: <https://www.rankia.cl/blog/analisis-ipsa/3557649-principalesbolsas-valores-mundo-sus-indicadores>

Carpio, J. (2005). Las redes neuronales artificiales en las finanzas, publicado el 11/2005.

Disponible en:

https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/Vol8_n2/a05.pdf

Chan, J. & Azliza, A. (2015). Using Neural Networks to Enhance Technical Trading Rule Returns: A Case with KLCI, publicado en 12/2015.

Dinesh, S., Rao, N, Anusha, S. & Samhitha, R. (2021). Prediction of Trends in Stock Market using Moving Averages and Machine Learning, publicado el 10/05/2021

Ermev, R. (2019). The magic of moving averages, publicado el 31/01/2019. Disponible en:

<https://www.kiplinger.com/article/investing/t052-c008-s002-the-magic-of-moving-averages.html>

Gómez, F., Fernández, M., López, M., Díaz-Mata & M. (1994). Aprendizaje con redes neuronales artificiales.

García, J. (1991). Críticas al análisis técnico y al análisis fundamental en la previsión de tendencias, publicado en 08/1991.

Killian, A. (2019). Los 10 mejores indicadores de trading para inversores, publicado el 5/09/2019. Disponible en: <https://www.ig.com/es/estrategias-de-trading/los-10-mejores-indicadores-de-trading-para-inversores-190830>

Kwon, K. & Kish, R. (2002). Technical trading strategies and return predictability: NYSE.

Mahony, J. (2020). Guía para operar con medias móviles, publicado 19/03/2020. Disponible en: <https://www.ig.com/es/estrategias-de-trading/trading-con-medias-moviles--tipos-y-estrategias-mas-usadas-200225>

Murphy, J (1999). Technical analysis of the Financial Markets. A comprehensive guide to trading methods and applications.

Parisi, A., Parisi, F. & Díaz, D. (2006). Modelos de algoritmos genéticos y redes neuronales en la predicción de índices bursátiles asiáticos.

Park, C. & Irwin, S. (2007). What do we know about the profitability of technical analysis?

Treynor, J. & Ferguson, R. (1985). In Defense of Technical Analysis publicado en 07/1995.

Vozpopuli (2020). Análisis fundamental. Disponible en:

<https://www.estrategiasdeinversion.com/herramientas/diccionario/analisis-fundamental/analisis-fundamental-t-1037#:~:text=Es%20una%20t%C3%A9cnica%20de%20predicci%C3%B3n,t%C3%ADulos%20de%20la%20en%20bolsa>

Yao, J., Tan & C, Poh, H. (1999). Neural networks for technical analysis: A study on KLCI, publicado en 07/1999.