



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Optimización mediante aprendizaje automático de estrategias de
inversión en mercados financieros basadas en osciladores

Autor: María Villanueva Nieto

Director: Juan Luis Zamora Macho

Madrid

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

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.: María Villanueva Nieto

Fecha: 11/01/2022

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Juan Luis Zamora Macho

Fecha: 14/01/2021

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

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

El autor D. María Villanueva Nieto 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 osciladores, 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) Reproducirla 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 11 de enero de 2022

ACEPTA

Fdo. MARÍA

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



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Optimización mediante aprendizaje automático de estrategias de
inversión en mercados financieros basadas en osciladores

Autor: María Villanueva Nieto

Director: Juan Luis Zamora Macho

Madrid

OPTIMIZACIÓN MEDIANTE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO DE ESTRATEGIAS DE INVERSIÓN EN MERCADOS FINANCIEROS BASADAS EN OSCILADORES

Autor: Villanueva Nieto, María.

Director: Zamora Macho, Juan Luis.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto, en primer lugar, se han revisado y optimizado las estrategias ya propuestas basadas en un oscilador financiero llamado RSI (Relative Strength Index), y posteriormente se han desarrollado nuevas estrategias mediante la aplicación de métodos de aprendizaje automático, en concreto redes neuronales. Para ello, se han empleado datos de fin de día de Yahoo para los últimos 9 años correspondientes a 2604 valores del mercado americano con el fin de disponer de un volumen de datos significativo. Finalmente, se han comparado los resultados de las distintas estrategias y se ha obtenido que la mejor estrategia es la optimización del RSI con parámetros individuales para cada acción. El desarrollo se ha realizado en el entorno Matlab.

Palabras clave: RSI (Relative Strength Index), aprendizaje automático, redes neuronales

1. Introducción

Este proyecto ha tratado de la optimización mediante aprendizaje automático (redes neuronales) de estrategias de inversión a medio y corto plazo en mercados financieros basadas en un oscilador llamado RSI (Relative Strength Index). Para ello se han utilizado los datos históricos de los últimos 9 años del precio de cierre diario de aproximadamente 2.600 acciones de empresas del mercado americano obtenidos de Yahoo Finance.

El RSI es uno de los osciladores más populares en el mundo del trading últimamente. Fue inventado por J.Welles Wilder en el que buscaba medir la fuerza de la tendencia del precio computando el número de sesiones alcistas respecto a las bajistas. Normalmente se determina con un parámetro estándar de 14 días considerando zona de sobrecompra al estar por encima de 70% y zona de sobreventa al estar por debajo de 30%. No obstante, estos límites varían según la estrategia (Rabassa, El indicador RSI y sus trucos, 2019).

Las redes neuronales son un conjunto de algoritmos diseñados para reconocer patrones. Tienen una capa de entrada, un determinado número de capas ocultas y una capa de salida,

todas ellas interconectadas por nodos o neuronas a través de las que van pasando los datos desde que entran hasta que salen. Trata de dar respuestas similares a las que puede dar el cerebro (¿Qué es una red neuronal?, s.f.).

2. Objetivos del proyecto

Los principales objetivos de este proyecto tras analizar estudios de años anteriores han sido:

- Analizar y revisar las estrategias de inversión ya existentes basadas en el oscilador RSI, verificando hasta qué punto son rentables.
- Proponer nuevas estrategias de inversión a corto plazo basadas en el RSI, usando aprendizaje automático y evaluar la rentabilidad obtenida con el fin de conseguir más rentabilidad que las estrategias normales.
- Optimizar las estrategias de inversión.
- Predecir las evoluciones futuras de las acciones mediante aprendizaje automático, principalmente usando redes neuronales

3. Descripción de las estrategias y resultados

3.1. Estrategia de optimización del RSI

Por un lado, se ha encontrado un estudio que utiliza 16 acciones del mercado americano y compara las estrategias del RSI tradicional, RSI optimizado, Kelly y Buy&Hold (Marek & Sedivá, 2017) y otro estudio que utiliza 30 acciones del mercado indio y compara las estrategias del RSI tradicional, RSI optimizado, MACD y Buy&Hold (Mahajan, 2015).

Por otro lado, se ha realizado un estudio de tres casos distintos sobre la optimización del RSI:

- Optimización de los parámetros de forma global para todas las acciones. El resultado ha sido una ventana de 14 y umbrales 45% y 85%.
- Optimización de los parámetros de forma individual para cada acción. Con esta estrategia se han obtenido las rentabilidades más altas.
- Persistencia en el tiempo: optimización de los parámetros los primeros 5 años y ver si se mantiene la rentabilidad manteniendo los mismos parámetros los últimos 4 años sin volver a optimizar. Se ha obtenido un resultado positivo en el caso de optimizar los parámetros de forma global para todas las acciones mientras que para el caso de

optimizar los parámetros de forma individual para cada acción la rentabilidad ha bajado mucho.

Para todos los casos se ha utilizado una estrategia no geométrica y se han tenido en cuenta las comisiones que se paga al bróker por cada operación que realiza.

3.2. Estrategia de optimización del RSI con redes neuronales

Por un lado, se ha encontrado un estudio que utiliza las redes neuronales y el RSI para conseguir RSI optimizados (Rodríguez-González, García-Crespo, Colomo-Palacios, Iglesias, & Gómez-Berbís, 2011).

Por otro lado, se ha realizado un estudio de la optimización del RSI utilizando redes neuronales. Se han utilizado distintos casos y el óptimo que se ha conseguido ha sido con cinco entradas del RSI14 en instantes distintos para obtener una rentabilidad futura a partir de la cual se decide si comprar o vender en función del corte con los umbrales óptimos. La figura 1 muestra un esquema de este proceso.

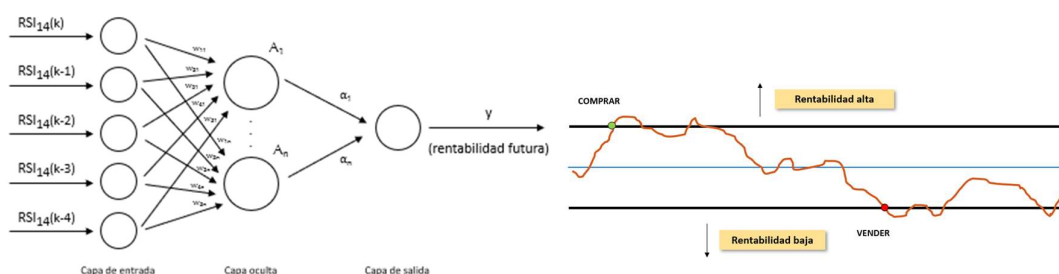


Figura 1: Esquema de la estrategia de redes neuronales con RSI

4. Comparación de estrategias

La tabla 1 y 2 muestra un resumen de los resultados de las distintas estrategias.

	Parámetros comunes		Parámetros individuales	
Estrategia	RSI	RSI y RN	RSI	RSI y RN
Tendencia bajista (medias)				
Rent. anual activa (%)	-2.85	-3.55	34.37	27.01
Rent. anual B&H (%)	-4.50			
Tendencia lateral (medias)				
Rent. anual activa (%)	10.07	8.26	36.62	28.96
Rent. anual B&H (%)	9.49			
Tendencia alcista (medias)				
Rent. anual activa (%)	36.08	31.65	63.05	60.87
Rent. anual B&H (%)	42.46			

Tabla 1: Resumen de resultados medios de rentabilidad pasiva y activa según la tendencia (bajista, lateral o alcista) de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales comparando la estrategia de optimización estándar del RSI con la que combina RSI y redes neuronales

Estrategia	Parámetros comunes		Parámetros	
	RSI	RSI y RN	RSI	RSI y RN
Sector (medias máx / min)				
Rent. anual activa (%)	-6.24 / 31.71	-6.18 / 25.05	17.34 / 70.69	16.28 / 56.77
Rent. anual B&H (%)	-6.14 / 31.16			

Tabla 2: Resumen de resultados de la rentabilidad activa y pasiva de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales comparando la estrategia de optimización estándar del RSI con la que combina RSI y redes neuronales

Tras este estudio en el que se analiza la estrategia de optimización del RSI y la estrategia de optimización del RSI con redes neuronales y se comparan entre ellas, la mejor estrategia es la estrategia de optimización de RSI con parámetros individuales para cada acción, es decir, es la estrategia que mejor rentabilidad anual media activa obtiene.

5. Conclusiones

Como conclusión, la mejor estrategia resultante en este estudio es la estrategia de optimización del RSI con parámetros individuales para cada acción. Además, se cree que cuantas más acciones se analizan, más fiable es el estudio.

Por un lado, respecto a los parámetros, la ventana de 14 de la que habla la literatura, según este estudio de media es la mejor y los umbrales de 30% y 70%, según estudios anteriores y este estudio, los umbrales suelen ser superiores, más en torno a 40%-80%.

Por otro lado, después de hacer un análisis de la persistencia en el tiempo de los parámetros, optimizando los parámetros de las acciones los primeros 5 años y manteniéndolos los siguientes 4 años sin volver a optimizar, en el caso de parámetros globales para todas las acciones, se puede decir que se mantienen, mientras que para el caso de parámetros individuales no se mantienen, la rentabilidad es mucho peor si no se optimizan para el segundo tramo.

Por último, no se puede garantizar que la red neuronal y la combinación de parámetros que se han seleccionado para la optimización de la estrategia utilizando redes neuronales sean las mejores, por ello se necesita analizar más casos con otras combinaciones.

6. Referencias

¿Qué es una red neuronal? (s.f.). Obtenido de MathWorks:
<https://es.mathworks.com/discovery/neural-network.html>

Rabassa, Y. (2019). El indicador RSI y sus trucos. Obtenido de
https://www.youtube.com/watch?v=_tG7w2HtQc0

Mahajan, Y. D. (Diciembre de 2015). *Optimization of MACD and RSI indicators: An Empirical Study of Indian Equity Market for Profitable Investment Decisions*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fdeliverypdf.ssrn.com%2Fdelivery.php%3FID%3D4801021160971201111200920730990960301270590600500070250290291150071140130250640140110330561201230400080221081141190940150861050

Marek, P., & Sedivá, B. (Septiembre de 2017). *Optimization and Testing of RSI*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FPatrice-Marek%2Fpublication%2F322209653_Optimization_and_Testing_of_RSI%2Flinks%2F5a4bb22a0f7e9b8284c2dacc%2FOptimization-and-Testing-of-RSI.pdf&clen=69146

Rodríguez-González, A., García-Crespo, Á., Colomo-Palacios, R., Iglesias, F. G., & Gómez-Berbís, J. M. (2011). *CAST: Using neural networks to improve trading systems based on technical analysis by means of the RSI financial indicator*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fe-archivo.uc3m.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10016%2F14358%2FCAST_ESA_2011_ps.pdf&clen=673444

MACHINE LEARNING OPTIMIZATION OF INVESTMENT STRATEGIES IN FINANCIAL MARKETS BASED ON OSCILLATORS

Autor: Villanueva Nieto, María.

Director: Zamora Macho, Juan Luis.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

RESUMEN DEL PROYECTO

In this project, firstly, we have reviewed and optimized the strategies already proposed based on a financial oscillator called RSI (Relative Strength Index), and then we have developed new strategies through the application of machine learning methods, specifically neural networks. For this purpose, Yahoo end-of-day data for the last 9 years corresponding to 2604 stocks of the American market have been used in order to have a significant volume of data. Finally, the results of the different strategies have been compared and it has been obtained that the best strategy is the optimization of the RSI with individual parameters for each stock. The development was carried out in the Matlab environment.

Key words: RSI (Relative Strength Index), machine learning, neural networks

1. Introduction

This project has dealt with the optimization by means of automatic learning (neural networks) of medium and short term investment strategies in financial markets based on an oscillator called RSI (Relative Strength Index). For this purpose, the historical data of the last 9 years of the daily closing price of approximately 2,600 stocks of companies in the American market obtained from Yahoo Finance have been used.

The RSI is one of the most popular oscillators in the trading world lately. It was invented by J.Welles Wilder in which he sought to measure the strength of the price trend by computing the number of bullish sessions relative to bearish ones. It is usually determined with a standard 14-day parameter considering an overbought zone to be above 70% and an oversold

zone to be below 30%. However, these limits vary depending on the strategy (Rabassa, El indicador RSI y sus trucos, 2019).

Neural networks are a set of algorithms designed to recognize patterns. They have an input layer, a certain number of hidden layers and an output layer, all interconnected by nodes or neurons through which they pass data from input to output. It tries to give responses similar to those that the brain can give. (¿Qué es una red neuronal?, s.f.).

2. Project goals

The main objectives of this project after analyzing studies from previous years have been:

- To analyze and review already existing investment strategies based on the RSI oscillator, verifying to what extent they are profitable.
- Propose new short-term investment strategies based on the RSI, using automatic learning and evaluate the profitability obtained in order to achieve more profitability than normal strategies.
- Optimize investment strategies.
- Predict future stock developments by machine learning, mainly using neural networks.

3. Description of strategies and results

3.1. RSI optimization strategy

On the one hand, a study has been found using 16 stocks from the American market and comparing traditional RSI, optimized RSI, Kelly and Buy&Hold strategies (Marek & Sedivá, 2017) and another study using 30 stocks from the Indian market and comparing traditional RSI, optimized RSI, MACD and Buy&Hold strategies (Mahajan, 2015).

On the other hand, a study of three different cases of RSI optimization has been carried out:

- Optimization of the parameters globally for all stocks. The result was a window of 14 and thresholds 45% and 85%.
- Optimization of the parameters individually for each stock. The highest returns have been obtained with this strategy.
- Persistence over time: optimization of the parameters for the first 5 years and see if profitability is maintained by keeping the same parameters for the last 4 years without

re-optimization. A positive result has been obtained in the case of optimizing the parameters globally for all the shares, while in the case of optimizing the parameters individually for each share, profitability has fallen sharply.

For all cases a non-geometric strategy has been used and the commissions paid to the broker for each trade have been taken into account.

3.2. RSI optimization strategy with neural networks

On the one hand, a study has been found that uses neural networks and RSI to achieve optimized RSI (Rodríguez-González, García-Crespo, Colomo-Palacios, Iglesias, & Gómez-Berbís, 2011).

On the other hand, a study of RSI optimization using neural networks has been carried out. Different cases have been used and the optimum obtained has been with five inputs of the RSI14 at different times to obtain a future profitability from which it is decided whether to buy or sell depending on the cut-off with the optimum thresholds. Figure 1 shows a schematic of this process.

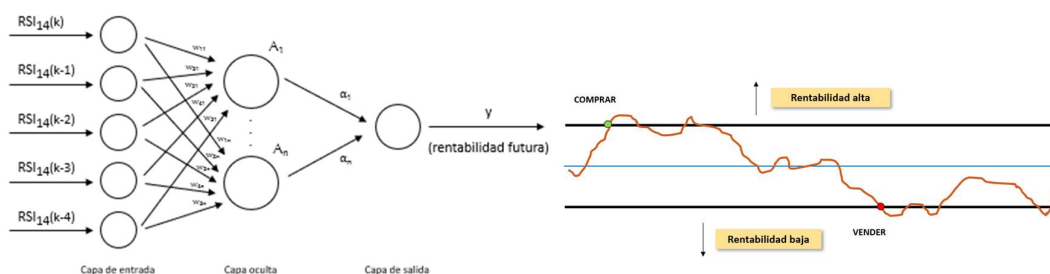


Figure 1: Diagram of the neural network strategy with RSI

4. Comparison of strategies

Table 1 and 2 shows a summary of the result of the different strategies.

	Parámetros comunes		Parámetros individuales	
Estrategia	RSI	RSI y RN	RSI	RSI y RN
Tendencia bajista (medias)				
Rent. anual activa (%)	-2.85	-3.55	34.37	27.01
Rent. anual B&H (%)	-4.50			
Tendencia lateral (medias)				
Rent. anual activa (%)	10.07	8.26	36.62	28.96
Rent. anual B&H (%)	9.49			
Tendencia alcista (medias)				
Rent. anual activa (%)	36.08	31.65	63.05	60.87
Rent. anual B&H (%)	42.46			

Table 1: Summary of average passive and active return results according to the trend (bearish, sideways or bullish) of the optimization of each security using common or individual parameters comparing the standard RSI optimization strategy with that combining

Estrategia	Parámetros comunes		Parámetros	
	RSI	RSI y RN	RSI	RSI y RN
Sector (medias máx / min)				
Rent. anual activa (%)	-6.24 / 31.71	-6.18 / 25.05	17.34 / 70.69	16.28 / 56.77
Rent. anual B&H (%)	-6.14 / 31.16			

Table 2: Summary of active and passive performance results of the optimization of each security using common or individual parameters comparing the standard RSI optimization strategy with the one combining RSI and neural networks.

After this study in which the RSI optimization strategy and the RSI optimization strategy with neural networks are analyzed and compared with each other, the best strategy is the RSI optimization strategy with individual parameters for each stock, i.e., it is the strategy that obtains the best average annual active return.

5. Conclusions

To conclude, the best resulting strategy in this study is the RSI optimization strategy with individual parameters for each stock. Moreover, it is believed that the more stocks are analyzed, the more reliable the study is.

On the one hand, regarding the parameters, the window of 14 that the literature talks about, according to this study on average is the best and the thresholds of 30% and 70%, according to previous studies and this study, the thresholds are usually higher, more around 40%-80%.

On the other hand, after making an analysis of the persistence over time of the parameters, optimizing the parameters of the shares the first 5 years and maintaining them the following 4 years without re-optimizing, in the case of global parameters for all the shares, it can be said that they are maintained, while for the case of individual parameters they are not maintained, the profitability is much worse if they are not optimized for the second tranche.

Finally, it cannot be guaranteed that the neural network and the combination of parameters that have been selected for the optimization of the strategy using neural networks are the best, so more cases with other combinations need to be analyzed.

6. References

¿Qué es una red neuronal? (s.f.). Obtenido de MathWorks:
<https://es.mathworks.com/discovery/neural-network.html>

Rabassa, Y. (2019). El indicador RSI y sus trucos. Obtenido de
https://www.youtube.com/watch?v=_tG7w2HtQc0

Mahajan, Y. D. (Diciembre de 2015). *Optimization of MACD and RSI indicators: An Empirical Study of Indian Equity Market for Profitable Investment Decisions*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fdeliverypdf.ssrn.com%2Fdelivery.php%3FID%3D4801021160971201111200920730990960301270590600500070250290291150071140130250640140110330561201230400080221081141190940150861050

Marek, P., & Sedivá, B. (Septiembre de 2017). *Optimization and Testing of RSI*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FPatrice-Marek%2Fpublication%2F322209653_Optimization_and_Testing_of_RSI%2Flinks%2F5a4bb22a0f7e9b8284c2dacc%2FOptimization-and-Testing-of-RSI.pdf&clen=69146

Rodríguez-González, A., García-Crespo, Á., Colomo-Palacios, R., Iglesias, F. G., & Gómez-Berbís, J. M. (2011). *CAST: Using neural networks to improve trading systems based on technical analysis by means of the RSI financial indicator*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fe-archivo.uc3m.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10016%2F14358%2FCAST_ESA_2011_ps.pdf&clen=673444

Índice de la memoria

Capítulo 1.	Introducción	11
1.1	Descripción del proyecto.....	11
1.2	Motivación	11
1.3	Objetivos	12
1.4	Metodología de trabajo.....	12
1.5	Recursos empleados	13
1.6	Estructura de la memoria.....	13
Capítulo 2.	Estado del arte	15
2.1	El mercado bursátil.....	15
2.1.1	Análisis fundamental	16
2.1.2	Análisis técnico.....	16
2.2	Optimización de la estrategia tradicional del RSI	18
2.3	Aprendizaje automático.....	25
2.3.1	Tipos de aprendizaje automático.....	26
2.3.1.1	Aprendizaje supervisado	26
2.3.1.2	Aprendizaje no supervisado	29
2.4	Combinación del RSI y el aprendizaje automático	32
2.4.1	Evaluación de un caso general.....	40
2.4.2	Evaluación de un caso real	43
Capítulo 3.	RSI (Relative Strength Index)	46
3.1	Introducción.....	46
3.2	Fórmula de cálculo	47
3.3	Estrategia de inversión	47
3.3.1	Análisis en función de la tendencia del precio de la acción.....	49
3.3.2	Análisis en función de los parámetros elegidos	52
3.3.2.1	Según la ventana elegida	52
3.3.2.2	Según la magnitud de los umbrales elegidos.....	59
3.3.2.3	Según el sentido elegido de cruce de los umbrales	67
3.3.4	Análisis en función del número de operaciones	74
3.4	Conclusiones	77
Capítulo 4.	Optimización de la estrategia de inversión.....	79

4.1	Introducción.....	79
4.2	Método utilizado.....	79
4.4	Distintos casos de optimización	82
4.4.1	<i>Optimización global para todos los valores</i>	82
4.4.1.1	Análisis inicial para la decisión de parámetros	82
4.4.1.2	Análisis de la rentabilidad en función de si reinviertes o no los beneficios	86
4.4.1.3	Análisis de la rentabilidad en función del sentido de cruce de los umbrales.....	88
4.4.1.4	Análisis sobre la optimización en función de la tendencia (bajista, lateral o alcista).....	89
4.4.1.5	Análisis sobre la optimización en función de las variables continuas y discretas	92
4.4.2	<i>Optimización de cada valor de forma individual</i>	97
4.4.2.1	Análisis inicial sobre los parámetros óptimos	97
4.4.2.2	Análisis de la rentabilidad en función de si reinviertes o no los beneficios	98
4.4.2.3	Análisis de la rentabilidad en función del sentido de cruce de los umbrales.....	99
4.4.2.4	Análisis sobre la optimización en función de la tendencia (bajista, lateral o alcista)	101
4.4.2.5	Análisis sobre la optimización en función de las variables continuas y discretas	103
4.4.3	<i>Persistencia del óptimo en el tiempo</i>	108
4.4.3.1	Análisis para la optimización global	109
4.4.3.1.1	Análisis estadístico general	109
4.4.3.1.2	Análisis de la optimización.....	109
4.4.3.2	Análisis para la optimización individual	117
4.4.3.2.1	Análisis estadístico general	117
4.4.3.2.2	Análisis de la optimización.....	117
4.5	Conclusiones	128
Capítulo 5.	<i>Predicción de evoluciones futuras mediante aprendizaje automático</i>	133
5.1	Introducción.....	133
5.1.1	<i>Redes neuronales</i>	133
5.1.2	<i>Combinación del RSI y redes neuronales</i>	134
5.2	Distintos casos de optimización	137
5.2.1	<i>Análisis inicial sobre la decisión de los valores</i>	137
5.2.2	<i>Optimización global para todos los valores</i>	138
5.2.2.1	Análisis sobre la optimización en función de la tendencia (bajista, lateral o alcista).....	138
5.2.2.2	Análisis sobre la optimización en función del sector	140
5.2.3	<i>Optimización de cada valor de forma individual</i>	141
5.2.3.1	Análisis sobre la optimización en función de la tendencia (bajista, lateral o alcista).....	141
5.2.3.2	Análisis sobre la optimización en función del sector	143

5.3 Conclusiones	144
Capítulo 6. Comparación de estrategias.....	146
6.1 Introducción.....	146
6.2 De forma global.....	146
6.2.1 En función de la tendencia (bajista, lateral o alcista).....	146
6.2.2 en función del sector.....	148
6.3 De forma individual.....	150
6.3.1 En función de la tendencia (bajista, lateral o alcista).....	150
6.3.2 en función del sector.....	152
6.4 Conclusiones	153
Capítulo 7. Aportaciones, conclusiones y futuros desarrollos.....	155
7.1 Aportaciones.....	155
7.2 Conclusiones	156
7.2.1 Optimización de la estrategia del RSI	156
7.2.2 Optimización de la estrategia del RSI y redes neuronales.....	158
7.2.3 Comparación de estrategias.....	159
7.3 Futuros desarrollos	159
Capítulo 8. Bibliografía.....	160
ANEXO I: Matrices del análisis de optimización (4.5.1.1)	164

Índice de figuras

Figura 1: Esquema de la estrategia de redes neuronales con RSI.....	11
Figura 2: Ciclos y fases del mercado (Rabassa, Osciladores de trading. Cómo usarlos correctamente, 2019).....	16
Figura 3: Oscilador RSI (Osciladores de Trading , 2020).....	18
Figura 4: Rendimientos relativos para las cuatro estrategias con una fecha de inicio mínima de febrero 2007 y fecha de fin máxima de febrero 2017.....	21
Figura 5: Tipos de aprendizaje automático y sus algoritmos (Machine Learning, s.f.).....	26
Figura 6: Resultados de clasificación usando SVM (Thirunavukarasu Anbalagan & Maheswari, 2015).....	27
Figura 7: Árbol de clasificación según el análisis (Thirunavukarasu Anbalagan & Maheswari, 2015).....	27
Figura 8: Estructura típica de una red neuronal (¿Qué es una red neuronal?, s.f.).....	28
Figura 9: Estructura de la red neuronal utilizada para predecir el precio de las acciones de S&P500 (Enke, Grauer, & Mehdiyev, 2011).....	29
Figura 10: Clustering (Machine Learning, s.f.).....	30
Figura 11: Clustering jerárquico (Algoritmos de Data Mining para agrupar datos – Clustering Jerárquico, s.f.).....	31
Figura 12: Clustering jerárquico de valores de la bolsa de Nueva York (Tumminello, Lillo, & Mantegna, 2008).....	31
Figura 13: Estructura general del sistema de predicción.....	34
Figura 14: Red neuronal de complejidad baja.....	34
Figura 15: Capas de una red neuronal.....	35
Figura 16: Red neuronal de complejidad media.....	41
Figura 17: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14 y umbrales 30/70.....	49
Figura 18: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14 y umbrales 30/70.....	50
Figura 19: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14 y umbrales 30/70.....	51
Figura 20: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 9 y umbrales 30/70.....	52
Figura 21: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14 y umbrales 30/70.....	53
Figura 22: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 19 y umbrales 30/70.....	53
Figura 23: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 19 y umbrales 30/70 (2012-2015).....	55
Figura 24: Rentabilidades de CCEP con ventana 14 y umbrales 30/70.....	55
Figura 25: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 9 y umbrales 30/70.....	56
Figura 26: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14 y umbrales 30/70.....	56
Figura 27: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 19 y umbrales 30/70.....	57
Figura 28: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 9 y umbrales 30/70.....	57
Figura 29: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14 y umbrales 30/70.....	58
Figura 30: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 19 y umbrales 30/70.....	58
Figura 31: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14 y umbrales 20/60.....	60
Figura 32: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14 y umbrales 30/70.....	60
Figura 33: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14 y umbrales 40/80.....	61
Figura 34: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14 y umbrales 20/60 (2013-2016).....	61
Figura 35: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14 y umbrales 20/60.....	63
Figura 36: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14 y umbrales 30/70.....	63
Figura 37: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14 y umbrales 40/80.....	64
Figura 38: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14 y umbrales 20/60.....	65
Figura 39: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14 y umbrales 30/70.....	65
Figura 40: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14 y umbrales 30/70.....	66

Figura 41: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ascendente y descendente.....	67
Figura 42: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales descendente y ascendente.....	68
Figura 43: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ambos ascendentes.....	68
Figura 44: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ambos descendentes.....	69
Figura 45: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ascendente y descendente.....	69
Figura 46: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales descendente y ascendente.....	70
Figura 47: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ambos ascendentes.....	70
Figura 48: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ambos descendentes.....	71
Figura 49: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ascendente y descendente.....	71
Figura 50: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales descendente y ascendente.....	72
Figura 51: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ambos ascendentes.....	72
Figura 52: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ambos descendentes.....	73
Figura 53: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14, umbrales 30/70.....	74
Figura 54: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14, umbrales 35/65.....	74
Figura 55: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14, umbrales 30/70.....	75
Figura 56: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14, umbrales 30/65.....	75
Figura 57: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14, umbrales 30/70.....	76
Figura 58: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14, umbrales 35/70.....	76
Figura 59: Relación entre la rentabilidad anual activa y la rentabilidad anual pasiva discretizada.....	81
Figura 60: Rentabilidad activa anual media según la ventana y los umbrales.....	83
Figura 61: Rentabilidad activa anual media según la ventana y los umbrales.....	83
Figura 62: Número medio anual de operaciones según la ventana y los umbrales.....	84
Figura 63: Número medio anual de operaciones según la ventana y los umbrales.....	84
Figura 64: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 34, umbrales 45/90.....	85
Figura 65: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14, umbrales 45/55.....	86
Figura 66: Relación entre la rentabilidad anual activa según la estrategia con reinversión y sin reinversión.....	87
Figura 67: Relación entre la rentabilidad anual activa según la combinación del sentido de cruce de umbrales de la estrategia.....	89
Figura 68: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia.....	90
Figura 69: Ventana media según la tendencia.....	91
Figura 70: Número medio de operaciones/año según la tendencia.....	91
Figura 71: Correlación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva).....	92
Figura 72: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (mercados).....	93
Figura 73: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores).....	94

Figura 74: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (industrias).....	95
Figura 75: Relación entre variables continuas y continuas discretizadas.....	96
Figura 76: Relación entre la rentabilidad anual activa según la estrategia con reinversión y sin reinversión	99
Figura 77: Relación entre la rentabilidad anual activa según la combinación del sentido de cruce de umbrales de la estrategia.....	100
Figura 78: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia	101
Figura 79: Ventana media según la tendencia	102
Figura 80: Número medio de operaciones/año según la tendencia.....	102
Figura 81: Correlación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva)	103
Figura 82: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (mercados).....	104
Figura 83: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores)	105
Figura 84: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (industrias).....	106
Figura 85: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (centro y diferencia de umbrales)	107
Figura 86: Relación entre variables continuas y continuas discretizadas.....	108
Figura 87: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia en los primeros 5 años (izquierda) y los siguientes 4 (derecha). 110	
Figura 88: Ventana media según la tendencia en los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha).....	111
Figura 89: Número medio de operaciones/año según la tendencia en los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)...	111
Figura 90: Correlación entre las variables continuas (número de operaciones al año y rentabilidad anual activa y pasiva) de los primeros 5 años.....	112
Figura 91: Correlación entre las variables continuas (número de operaciones al año y rentabilidad anual activa y pasiva) de los últimos 4 años.....	112
Figura 92: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (mercados) de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha).....	113
Figura 93: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores) de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha).....	114
Figura 94: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (industrias) de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha).....	115
Figura 95: Relación entre variables continuas y continuas discretizadas de los primeros 5 años	116
Figura 96: Relación entre variables continuas y continuas discretizadas de los últimos 4 años	116
Figura 97: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia en los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)	118
Figura 98: Ventana media según la tendencia en los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha).....	119
Figura 99: Número medio de operaciones/año según la tendencia en los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)...	119
Figura 100: Correlación entre las variables continuas (número de operaciones al año y rentabilidad anual activa y pasiva) de los primeros 5 años.....	121
Figura 101: Correlación entre las variables continuas (número de operaciones al año y rentabilidad anual activa y pasiva) de los últimos 4 años.....	121
Figura 102: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (mercados) de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha).....	122
Figura 103: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores) de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha).....	123
Figura 104: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (industrias) de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha).....	124
Figura 105: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y los centros de umbrales de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)	125

Figura 106: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y las diferencias de umbrales de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha).....	126
Figura 107: Relación entre variables continuas y continuas discretizadas de los primeros 5 años	127
Figura 108: Relación entre variables continuas y continuas discretizadas de los últimos 4 años.....	127
Figura 109: Estructura típica de una red neuronal (¿Qué es una red neuronal?, s.f.).....	133
Figura 110: Estructura de la red neuronal con 3 entradas de distintos RSI en un mismo instante	135
Figura 111: Estructura de la red neuronal con 5 entradas de RSI14 en 5 instantes distintos	135
Figura 112: Método utilizado con la rentabilidad predicha a 5 o 10 días	136
Figura 113: Rentabilidad anual activa media de cada caso	137
Figura 114: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia	138
Figura 115: Ventana media según la tendencia	139
Figura 116: Número medio de operaciones/año	139
Figura 117: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores)	140
Figura 118: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia	141
Figura 119: Ventana media según la tendencia	142
Figura 120: Número medio de operaciones/año según la tendencia	142
Figura 121: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores)	143
Figura 122: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)	147
Figura 123: Ventana media según la tendencia optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)	147
Figura 124: Número medio de operaciones/año optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)	148
Figura 125: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores) optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)	149
Figura 126: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)	150
Figura 127: Ventana media según la tendencia optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)	151
Figura 128: Número medio de operaciones/año según la optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)	151
Figura 129: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores) optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)	152

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Fórmula del RSI	18
Ecuación 2: Fórmula del RS	18
Ecuación 3: Función de activación tap	37
Ecuación 4: Función de activación tangente hiperbólica	37
Ecuación 5: Función de activación bias	37
Ecuación 6: RSI óptimo para la predicción del mercado	39
Ecuación 7: Fórmula del RSI today	39
Ecuación 8: Fórmula del RSI yesterday	39
Ecuación 9: Fórmula del restRSI	39
Ecuación 10: Fórmula del growth rate de una compañía	39
Ecuación 11: Fórmula del growth rate del mercado	39
Ecuación 12: Fórmula del RSI sin memoria	39
Ecuación 13: Fórmula del RSI con memoria	39
Ecuación 14: Fórmula del RSI	47
Ecuación 15: Fórmula del RS	47
Ecuación 16: Ejemplo de media de las subidas	47
Ecuación 17: Ejemplo de media de las bajadas	47
Ecuación 18: Ejemplo del RS	47
Ecuación 19: Ejemplo del RSI	47

Índice de tablas

Tabla 1: Resumen de resultados medios de rentabilidad pasiva y activa según la tendencia (bajista, lateral o alcista) de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales comparando la estrategia de optimización estándar del RSI con la que combina RSI y redes neuronales.....	12
Tabla 2: Resumen de resultados de la rentabilidad activa y pasiva de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales comparando la estrategia de optimización estándar del RSI con la que combina RSI y redes neuronales.....	12
Tabla 3: Número de simulación con los mejores resultados para las cuatro estrategias con una fecha de inicio mínima de febrero 2007 y fecha de fin máxima de febrero 2017.....	20
Tabla 4: Resultados obtenidos en el estudio del mercado indio con el RSI y el MACD.....	24
Tabla 5: Valores de entrada a la red neuronal.....	35
Tabla 6: Datos de la estructura de la red neuronal (complejidad baja).....	36
Tabla 7: Datos de la estructura de la red neuronal (complejidad media).....	41
Tabla 8: Tabla de redes neuronales usada para predecir el RSI.....	42
Tabla 9: Tabla de resultados sobre la predicción de la mejor red neuronal.....	42
Tabla 10: Resultados del estudio de comparación del RSI14 y el iRSI del IBEX35.....	43
Tabla 11: Resultados del RSI14 para el estudio de comparación del RSI14 y el iRSI de compañías concretas del IBEX35.....	44
Tabla 12: Resultados del iRSI calculado sin memoria para el estudio de comparación del RSI14 y el iRSI de compañías concretas del IBEX35.....	44
Tabla 13: Resultados del iRSI calculado con memoria para el estudio de comparación del RSI14 y el iRSI de compañías concretas del IBEX35.....	44
Tabla 14: Rentabilidad activa anual según la ventana.....	59
Tabla 15: Rentabilidad activa anual según la combinación de umbrales.....	73
Tabla 16: Porcentaje de máximos y medias de la rentabilidad activa según la estrategia (sin reinversión o con reinversión).....	87
Tabla 17: Porcentaje de máximos y medias de la rentabilidad activa según la combinación de umbrales.....	88
Tabla 18: Combinación de parámetros para la obtención de rentabilidades activas anuales óptimas.....	97
Tabla 19: Porcentaje de máximos y medias de la rentabilidad activa según la estrategia (sin reinversión o con reinversión).....	98
Tabla 20: Porcentaje de máximos y medias de la rentabilidad activa según la combinación de umbrales.....	100
Tabla 21: Comparación de las rentabilidades entre los dos tramos.....	109
Tabla 22: Comparación de las rentabilidades entre los dos tramos.....	117
Tabla 23: Decisión de parámetros, método de reinversión y sentido de cruces de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales.....	128
Tabla 24: Resumen de resultados medios de rentabilidad pasiva y activa, ventana y número de operaciones según la tendencia (bajista, lateral o alcista) de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales.....	129
Tabla 25: Resumen de resultados de número de operaciones, rentabilidad activa y pasiva de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales.....	130
Tabla 26: Resumen de resultados medios de rentabilidad pasiva y activa, ventana y número de operaciones según la tendencia (bajista, lateral o alcista) de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales y distinguiendo los primeros 5 años de los últimos 4 años.....	131
Tabla 27: Resumen de resultados de número de operaciones, rentabilidad activa y pasiva de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales y distinguiendo los primeros 5 años de los últimos 4 años.....	131
Tabla 28: 12 casos de combinación del RSI y redes neuronales.....	134
Tabla 29: Datos de cada caso.....	137

Tabla 30: Resumen de resultados medios de rentabilidad pasiva y activa, ventana y número de operaciones según la tendencia (bajista, lateral o alcista) de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales	144
Tabla 31: Resumen de resultados de número de operaciones, rentabilidad activa y pasiva de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales	145
Tabla 32: Resumen de resultados medios de rentabilidad pasiva y activa, ventana y número de operaciones según la tendencia (bajista, lateral o alcista) de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales comparando la estrategia de optimización estándar del RSI con la que combina RSI y redes neuronales	153
Tabla 33: Resumen de resultados de número de operaciones, rentabilidad activa y pasiva de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales comparando la estrategia de optimización estándar del RSI con la que combina RSI y redes neuronales	153
Tabla 34: Matrices de la rentabilidad activa anual media y el número de operaciones medio por año según los parámetros (ventana 9, 14 y 19).....	164
Tabla 35: Matrices de la rentabilidad activa anual media y el número de operaciones medio por año según los parámetros (ventana 24, 29 y 34).....	165

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El aprendizaje automático es un área de la Inteligencia Artificial que desarrolla algoritmos para encontrar patrones que predigan la evolución futura de una estructura de datos, haciendo posible el aprendizaje, el razonamiento y la toma de decisiones sin interacción humana (¿Qué es el aprendizaje automático?, s.f.).

Este proyecto ha tratado de la optimización mediante aprendizaje automático de estrategias de inversión a medio y corto plazo en mercados financieros basadas en osciladores. Para ello se han utilizado los datos históricos de los últimos 9 años del precio de cierre diario de aproximadamente 2.600 acciones de empresas de distintos mercados obtenidos de Yahoo Finance.

Según el momento en el que se analiza el mercado se utiliza aprendizaje automático supervisado o no supervisado y distintos tipos de osciladores. Principalmente, se ha usado un oscilador muy utilizado en el mundo del trading llamado RSI (Relative Strength Index).

1.2 MOTIVACIÓN

La motivación de este trabajo ha sido aprender sobre el mercado bursátil y conseguir ofrecer distintas estrategias de inversión a medio y corto plazo que muestren una buena rentabilidad. Se ha tratado de investigar y aprender sobre el aprendizaje automático y sus distintos algoritmos para conseguir dichas estrategias con una rentabilidad mayor a las estrategias ya existentes.

El mundo financiero hoy en día está muy automatizado y por ello se pueden analizar gran cantidad de datos para ver sus tendencias y predecir sus movimientos futuros. Según el

estado del mercado se deducen las estrategias con distintos osciladores para conseguir sacar conclusiones convincentes.

Estos últimos años me ha empezado a interesar bastante el mundo financiero y de inversión. Por ello me parece un trabajo muy interesante del que se puede sacar muchas conclusiones. Además, estamos en un momento de mucha volatilidad e incertidumbre para los mercados debido al Covid-19.

1.3 OBJETIVOS

Los principales objetivos de este proyecto son:

1. Analizar y revisar las estrategias de inversión ya existentes basadas en el oscilador RSI, verificando hasta qué punto son rentables.
2. Proponer nuevas estrategias de inversión a corto plazo basadas en el RSI, usando aprendizaje automático y evaluar la rentabilidad obtenida con el fin de conseguir más rentabilidad que las estrategias normales.
3. Optimizar las estrategias de inversión.
4. Predecir las evoluciones futuras de las acciones mediante aprendizaje automático, principalmente usando redes neuronales.

1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Las tareas llevadas a cabo en este proyecto son:

1. Investigación sobre el estado del arte.
2. Recopilación de datos.
3. Optimización de estrategias de inversión con RSI.

4. Análisis estadístico de los resultados.
5. Proponer una nueva estrategia de inversión basada en redes neuronales con RSI.
6. Evaluar la rentabilidad de dichas estrategias y compararlas con el Buy & Hold.
7. Redacción de la memoria y presentación final.

1.5 RECURSOS EMPLEADOS

Para llevar a cabo este proyecto se ha utilizado:

- Matlab R2021a y toolboxes:
 - Deep Learning Toolbox
 - Financial Instruments Toolbox
 - Financial Toolbox
 - Optimization Toolbox
 - Statistics and Machine Learning Toolbox
- Yahoo Finance
- Distintos enlaces y artículos de información sobre:
 - Estrategias de inversión
 - Osciladores (RSI)
 - Aprendizaje automático (redes neuronales)

1.6 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

Este trabajo se ha estructurado en seis capítulos. El primer capítulo es una introducción donde se describe el proyecto y se muestra la motivación para hacerlo, los objetivos, la metodología seguida y los recursos que se han empleado. El segundo capítulo es el estado del arte donde se explica los temas fundamentales para entender el proyecto, los cuales son el mercado bursátil y el aprendizaje automático. En el tercer capítulo se explica más en concreto la estrategia de inversión del RSI y se analizan tres acciones. Después, en el cuarto

capítulo se realiza la optimización de la estrategia con las 2.600 acciones y en el quinto capítulo se utiliza aprendizaje automático, en concreto redes neuronales para predecir las evoluciones de las acciones. Finalmente, después de estos análisis se comparan las distintas estrategias utilizadas y se llega a conclusiones concretas para dar recomendaciones sobre el uso de la estrategia de inversión.

Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE

2.1 EL MERCADO BURSÁTIL

El mercado bursátil está formado por el conjunto de mercados cotizados de distintos países. Está compuesto por emisores, inversores y corredores de bolsa y permite a dichos inversores y corredores comprar y vender productos financieros de empresas (López, s.f.).

Hay distintos tipos de bolsas según el producto bursátil que ofrecen (acciones, bonos, divisas, créditos, futuros). Este trabajo se ha centrado en la Bolsa de Valores, en la que se puede comprar o vender acciones de empresas al precio que determina el mercado. La gente compra acciones de una empresa para conseguir dividendos, y las empresas emiten dichas acciones para financiarse. El precio de compra y de venta, se determina mediante subastas bursátiles públicas, donde los compradores y vendedores dicen el precio y las condiciones de lo que quieren comprar (¿Cómo funciona la Bolsa de Valores?, 2017).

Mientras la bolsa está abierta, está en continua actualización de precios, y este trabajo ha centrado en la predicción de la evolución del precio de un conjunto de acciones para determinar los instantes idóneos de compra y venta con el fin de maximizar el beneficio.

El mercado se compone de ciclos que dan forma a la tendencia (Pina, s.f.):

- **Recuperación:** se pierde la confianza del mercado por las caídas anteriores, es el momento de mayor desesperanza. Es la fase de acumulación.
- **Expansión:** es el momento de mayor crecimiento en el que la confianza cada vez es mayor. Es la fase de participación pública.
- **Crisis:** es el momento en el que hay exceso de confianza y complacencia. Parece que las subidas no tienen fin, pero llega un momento en el que no quedan compradores. Es la fase de distribución.

- **Recesión:** se producen caídas y es la parte final del ciclo total. Tras ella vuelven a repetirse los ciclos anteriores.

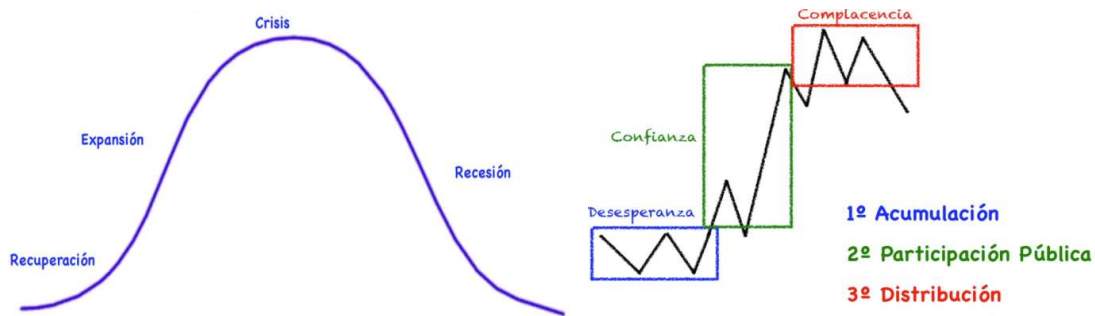


Figura 2: Ciclos y fases del mercado (Rabassa, Osciladores de trading. Cómo usarlos correctamente, 2019)

2.1.1 ANÁLISIS FUNDAMENTAL

El análisis fundamental del mercado trata de analizar el estado financiero de la empresa sobre la que se quiere invertir (sus beneficios, dividendos y planes del futuro) para saber si comprar o vender acciones de dicha empresa. La ausencia de beneficios de la empresa en el momento de inversión no significa que no sea una buena opción, ya que el precio de la acción puede explicar su perspectiva del futuro. Se trata de predecir su valor futuro antes de determinar el valor intrínseco de sus acciones.

2.1.2 ANÁLISIS TÉCNICO

El análisis técnico del mercado analiza los precios históricos mediante el uso de gráficos para poder predecir movimientos futuros identificando tendencias, basándose en las opiniones, esperanzas, miedos y estado de ánimo de los operadores del mercado que invierten en esos valores. Hay perturbaciones del mercado que no se pueden prever, como por ejemplo las noticias que influyen en el precio de las acciones. Los operadores compran y venden según sus emociones (Rabassa, Osciladores de trading. Cómo usarlos correctamente, 2019).

Se toman conclusiones para saber si comprar o vender según el precio objetivo de las acciones o según predicciones, con el fin de aumentar la rentabilidad. Se puede buscar rentabilidad a medio-largo plazo (meses, años), o a corto plazo (semanas, días o un día). En

este trabajo se ha analizado mediante aprendizaje automático una serie de datos para hacer predicciones y saber dónde invertir de una manera agresiva, basándose en el análisis a corto plazo mediante osciladores.

- **Osciladores:** son indicadores que predicen como puede reaccionar el mercado según sus tendencias. Representan como se mueve el precio de las acciones mediante gráficos. La mayoría de los osciladores analizan la volatilidad, la velocidad del movimiento del precio, las medias móviles del precio y la fuerza en las posiciones de compra y venta (Vázquez, s.f.).

Para poder utilizar bien un oscilador se debe tener en cuenta el ciclo y fase en el que se encuentra el mercado.

Los osciladores más comunes son RSI, estocástico, MACD y ATR. En este trabajo se ha usado el RSI:

- **RSI** (Relative Strength Index, o índice de fuerza relativa en español): es uno de los osciladores más populares en el mundo del trading últimamente. Es el principal oscilador en el que se ha centrado este trabajo. Fue inventado por J.Welles Wilder en el que buscaba medir la fuerza de la tendencia del precio computando el número de sesiones alcistas respecto a las bajistas. Normalmente se determina con un parámetro estándar de 14 días considerando zona de sobrecompra al estar por encima de 70 y zona de sobreventa al estar por debajo de 30. No obstante, estos límites varían según la estrategia (Rabassa, El indicador RSI y sus trucos, 2019).

La fórmula es:

$$RSI = 100 - \frac{100}{1 + RS}$$

Ecuación 1: Fórmula del RSI

$$RS = \frac{\text{Media de las subidas}}{\text{Media de las bajadas}}$$

Ecuación 2: Fórmula del RS



Figura 3: Oscilador RSI (Osciladores de Trading, 2020)

2.2 OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRATEGIA TRADICIONAL DEL RSI

Hay distintos estudios sobre la optimización de indicadores financieros como el RSI.

Se han analizado dos estudios que se han realizado recientemente sobre este tema.

- Optimización y pruebas del RSI

En este estudio (Marek & Sedivá, 2017) utiliza cuatro estrategias del RSI:

- RSI con los parámetros recomendados por la literatura
- RSI con parámetros optimizados cada día
- Estrategia de Buy & Hold
- Estrategia basada en Kelly azar (utiliza continuamente parámetros optimizados de cada día, es una fórmula que determina el tamaño teórico óptimo de una apuesta. Es

válida cuando se conocen los rendimientos esperados. El tamaño de la apuesta de Kelly se encuentra maximizando el valor esperado del logaritmo de la riqueza, lo que equivale a maximizar la tasa de crecimiento geométrico esperado)

El objetivo es comparar la optimización de cada día con las otras tres estrategias.

Los datos usados fueron los precios de empresas con mucho peso en el S&P500 entre los años 2006 y 2009. Se decidió utilizar 16 compañías grandes ya que se consideran más estables que las pequeñas, de distintos sectores.

Se realizaron 10,000 simulaciones que tomaron como día de comienzo de la inversión un día entre febrero de 2007 y febrero de 2010, periodo que incluye parte pre y post crisis financiera de 2008, y el final de la inversión es un día entre febrero 2014 y febrero 2017. El periodo de inversión duraba al menos 4 años.

La estrategia de optimización de parámetros trata de conseguir los mejores parámetros para conseguir la mayor revalorización de capital a un año. Para saber este valor, se compara el valor real del capital con el valor medio del capital en una semana de exactamente un año antes. Consideraron solo un año para que las estrategias de las empresas fuesen estables que podrían cambiar en periodos de tiempo mayores.

En esta optimización del RSI se podía tomar una ventana entre 7 y 30 días (la mitad del valor general 14 y casi el doble) y unos umbrales de $70+\Delta$ y $30-\Delta$ donde Δ puede tomar valores de -10 a 10. Para la elección de parámetros se fijaban en el día que cambiaban los parámetros óptimos, es decir, que para ver si cruzan el umbral de compra o de venta, se calcula el RSI óptimo del día y baja o sube hasta el del día anterior, utilizando tanto los parámetros óptimos del día actual y del día anterior para el RSI del día anterior. En el caso que al ir del RSI del día anterior al RSI del día actual se cruce uno de los umbrales, se da la señal de compra o venta.

Además, para hacer la simulación lo más real posible también incluyeron comisiones del 0.2% por cada compra o venta (fee de \$5 por cada 2,500\$).

Para obtener resultados, en cada simulación se generaba un día de inicio y de fin y el rendimiento entre esos dos días se comparaba para las cuatro estrategias. La figura 4 muestra el análisis de las simulaciones gráficamente, donde se ve claramente la comparación del rendimiento de las cuatro estrategias para cada acción. Estas rentabilidades no están anualizadas, por lo que muestran el valor final de lo que se invierte y el tiempo de inversión de cada simulación puede variar entre 4 y 10 años. Esto es un resultado comparable ya que cada simulación elige aleatoriamente un periodo de tiempo y se utiliza el mismo para las cuatro estrategias.

La tabla 3 muestra el número de simulaciones en la que obtiene el mejor valor cada estrategia.

Company	B&H	Kelly	RSI(14)	RSI(opt)
AIG	1,538	2,279	3,802	2,381
Apple	10,000	0	0	0
AT&T	8,639	904	344	113
Bank of America	987	9,013	0	0
Chevron Corp	7,450	728	1,796	26
Citigroup	2,793	4,400	2,805	2
Exxon Mobile	3,381	139	6,408	72
General Electric	4,870	1,452	3,678	0
Google	10,000	0	0	0
IBM	9,940	60	0	0
Johnson & Johnson	10,000	0	0	0
JPMorgan Chase	3,333	0	6,667	0
Microsoft	5,337	0	0	4,663
Pfizer	9,708	284	8	0
Procter & Gamble	8,644	146	1,210	0
Wal-Mart Stores	7,466	0	103	2,431

Tabla 3: Número de simulación con los mejores resultados para las cuatro estrategias con una fecha de inicio mínima de febrero 2007 y fecha de fin máxima de febrero 2017

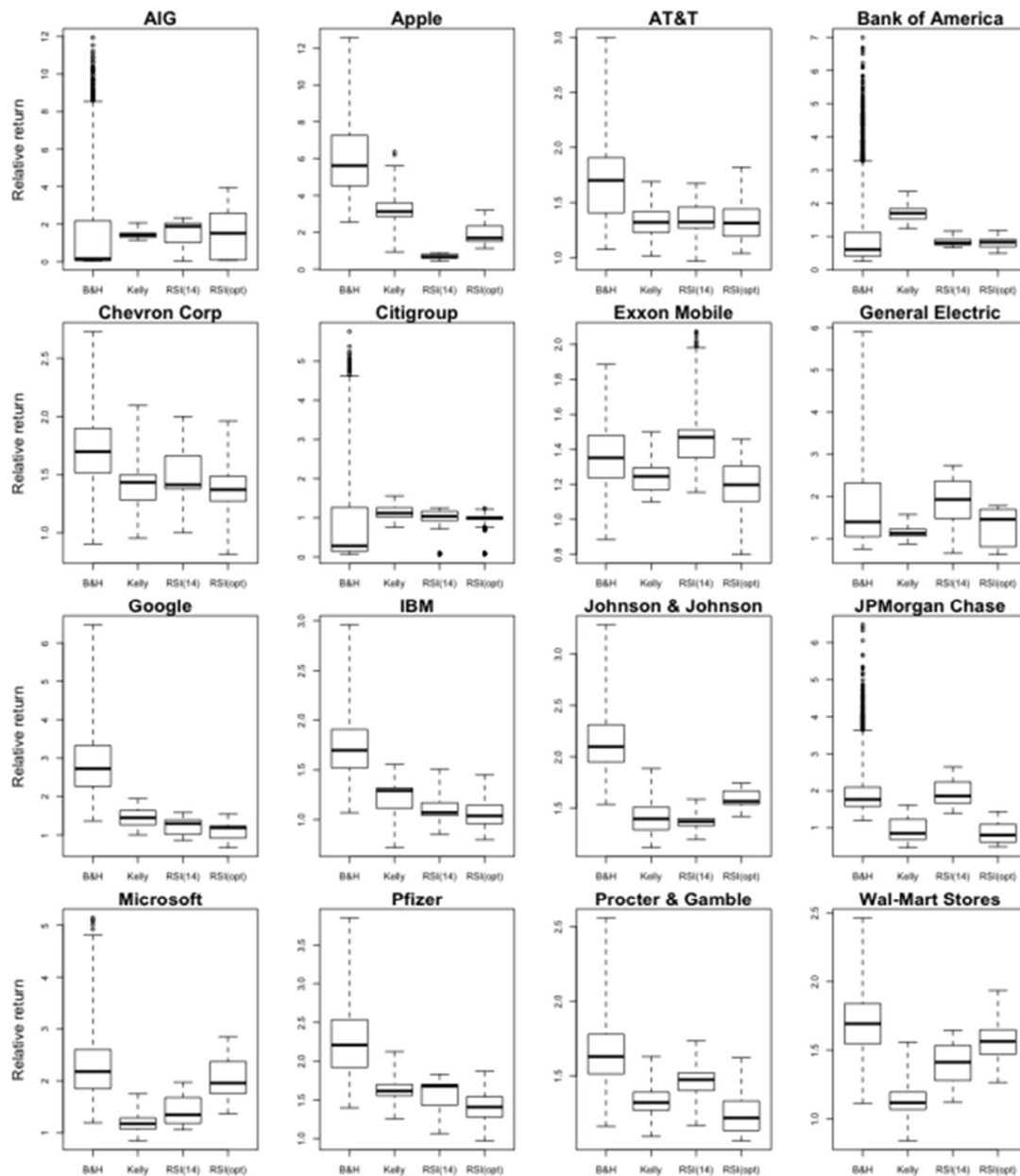


Figura 4: Rendimientos relativos para las cuatro estrategias con una fecha de inicio mínima de febrero 2007 y fecha de fin máxima de febrero 2017

Según este estudio la estrategia que mejor resultados da es el Buy & Hold. La tabla 3 refleja que el B&H consigue los mejores resultados en 11 de las 16 compañías y la figura 4 muestra que el B&H tiene la mejor mediana en 10 de las 16 compañías. Solo en el caso de AIG, Bank of America y Citigroup la mediana del B&H es la más baja, ya que son tres empresas que

estuvieron muy afectadas por la crisis financiera. No obstante, también se aprecia que el B&H es el que mayor desviación estándar tiene.

Además, este estudio muestra que en este caso el RSI14 da mejores resultados que el RSIOpt en 8 compañías mientras que es lo contrario para Apple, J&J, Microsoft y Walmart. La razón de esto es que lo estamos sobre ajustando, que optimizar cada día puede llegar a ser perjudicial en este tipo de análisis.

Por último, el RSIOpt produce mejores resultados que Kelly azar en 4 compañías, mientras que es lo contrario para 8 compañías.

- Optimización del RSI con un estudio de inversión en el mercado indio

Este estudio (Mahajan, 2015) explica la optimización del RSI y de MACD para hacer inversiones en el mercado indio con la intención de superar la rentabilidad que da la estrategia de buy & hold.

Los traders utilizan distintos indicadores del análisis técnico para saber dónde invertir. Sin embargo, en la India no se utilizaba mucho por lo que muchos inversores perdían dinero. Por ello, en este estudio se utiliza el mercado indio para demostrar que la optimización de estos indicadores puede dar buenos resultados. Este mercado depende en gran medida del movimiento de los inversores institucionales extranjeros.

Para realizar este estudio se utilizaron datos de manuales SEBI, NSE, reportes anuales de BSE, periódicos y libros sobre el tema de inversión. Son datos históricos, es decir interpreta analiza datos reales del pasado. El periodo de estudio se da entre abril 2012 y marzo 2015 y el programa utilizado para el análisis fue MetaStock trading simulation software y Excel. Los datos seleccionados son 30 acciones de cinco sectores distintos (financiero, farmacéutico, automóvil, tecnológico y productos de consumo inmediato).

Se ha realizado un análisis técnico, en el que se han utilizado el RSI y el MACD para identificar irregularidades en las series temporales de precios extrayendo patrones no lineales de datos ruidosos. El RSI lo consideran un indicador adelantado, que identifica el nivel de

sobrecompra y sobreventa de los precios de acciones y el MACD, un indicador de retardo que identifica el movimiento y la fuerza de la tendencia.

Primero se han utilizado los optimizadores según lo que dice la literatura. Después, se ha realizado la optimización de ambos en MetaStock:

- MACD:
 - Short Moving Average (línea 12): 2 a 25
 - Long Moving Average (línea 26): 2 a 50
 - Signal line (línea 9): 2 a 15
- RSI:
 - RSI period: 2 a 20
 - RSI low: 5 a 40
 - RSI high: 41 a 50

Los resultados obtenidos en el estudio se muestran en la tabla 4.

Stock Name	sma	lma	signal	r	tc	macd	opt	12,26,9	re	tc	rsi	result	tc	rsiopt	res	tc	rsi	opt	per	rsi	opt	low	rsi	opt	high	buy&hold
Axis Bank	10	22	14	22	240.8	152.38	99	-1.25	16	232.17	2	20	27	83	142.85											
Yes Bank	6	26	20	17	213.13	-48.12	95	-20.8	17	369.13	5	20	35	53	114.85											
SBI	24	32	4	26	158.78	-80.81	80	131.98	14	92.31	5	12	23	55	25.25											
HDFC Bank	20	22	8	11	89.13	-42.87	75	45.63	8	145.35	2	18	35	75	88.73											
BOB	14	32	16	16	135.73	-59.5	86	0.34	11	113.18	15	8	33	51	27.67											
ICICI Bank	16	14	12	19	203.36	-73.92	81	-30.59	10	109.41	8	6	23	83	77											
Lupin	20	42	8	9	207.96	-61.68	99	-67.48	16	264.95	1	16	39	87	264.34											
sunpharm	20	36	8	20	210.98	-46.4	76	3.8	15	268.87	9	6	37	89	76.33											
cipl	24	42	4	35	80.55	-57.01	80	-0.43	15	200.41	19	6	37	75	128.81											
glenmark	18	30	4	18	116.13	-43.31	89	-43.04	18	174.24	7	6	37	89	153.67											
Dr reddy	20	44	2	14	77.53	-56.91	76	-18.17	13	137.18	3	20	39	71	87.28											
Aurobindo	14	32	16	15	618.29	-49.56	125	-52.19	21	1048.21	1	20	39	89	961.32											
Tatamotors	24	34	2	21	137.48	-88.53	97	96.73	6	212.47	4	12	39	79	98.17											
maruti	10	34	2	13	113.61	-33.61	83	-11.67	9	245.66	3	14	27	83	164.87											
herom	8	32	2	27	62.98	-52.62	72	-34.63	11	54.13	14	6	29	75	20.79											
eicher	12	40	2	9	250.78	-61.26	71	-70.87	10	583.09	2	18	37	85	551.87											
ashokley	12	26	8	49	551.57	62.21	110	-70.35	16	323.68	1	20	27	83	146.69											
tv	12	36	14	11	671.47	-54.23	126	46.39	6	779.7	1	18	31	85	509.57											
infy	14	24	10	19	108.78	-3.92	72	49.81	12	39.22	7	6	23	79	-19.21											
tcs	16	2	14	33	98.02	-41.04	78	25.43	16	85	4	12	39	79	108.53											
wipro	8	32	2	13	84.67	-34.08	56	-8.11	15	89.4	1	18	23	79	40.6											
tech m	22	16	10	25	153.56	-63.1	93	37.25	6	269	2	16	31	81	73.04											
hclt	20	22	14	18	139.06	-58.88	100	-37.9	18	303.33	2	8	37	87	90.79											
hexaware	20	38	10	12	234.62	-18.13	105	-46.67	14	150.11	2	8	37	87	166.01											
itc	20	32	12	23	132.05	-10.98	61	29.48	9	144.26	14	6	23	79	42.28											
marico	20	34	2	24	196.7	-77.59	82	17.03	7	137.49	13	6	35	79	124.51											
godrej	24	40	2	52	116.1	-91.75%	84	12.66	14	41.21	1	18	37	85	102.49											
dabur	24	42	4	35	149.55	-55.61	77	-24.02	10	184.19	11	6	37	83	149.77											
colpal	12	20	2	26	55.9	-33.39	74	-3.8	16	126.69	13	6	37	83	69.31											
mcleodru	24	32	4	36	92.56	-12.72	76	5.53	12	36.37	3	12	23	55	-14.57											
Average	16.93	30.3	7.7333	22.27	190.061	-36.8703	85.9	-1.3303333	12.7	232.0137	5.833	12.26667	32.53333	78.2	152.4537											

Tabla 4: Resultados obtenidos en el estudio del mercado indio con el RSI y el MACD

Para el caso estándar de los indicadores, solo SBI y Infosys superan la estrategia de buy & hold utilizando el RSI y Asix Bank utilizando el MACD. Sin embargo, al optimizar estos indicadores, son muchos más capaces de mejorar la estrategia de buy & hold. Solo en el caso de Maruti, Eicher Motors, Lupin, Cipla, Glenmark, Dr. Reddy y Aurobindo Pharma para MACD y TCS y Godrej para el RSI, es peor usar la estrategia de optimización en vez de la de la de buy and hold.

El análisis técnico utilizando el MACD y el RSI permite a los inversores conocer la tendencia actual, la dirección de los precios de las acciones, los ciclos de negociación y el porcentaje de beneficios en comparación con la estrategia de buy & hold.

Las conclusiones que se han sacado de este estudio es que tanto el MACD como el RSI son sensibles al periodo de selección de valores, por lo que no se pueden generalizar estos

resultados del mercado indio con acciones de cualquier mercado. Además, con estos datos utilizados, se aprecia que se obtienen mejores resultados usando el RSI y el MACD optimizados en vez del RSI y el MACD estándar, ya que se obtiene una mejor rentabilidad media, consiguiendo llegar a un mejor resultado que la estrategia de buy & hold.

2.3 APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

El aprendizaje automático (Machine Learning) es una serie de algoritmos que encuentran patrones para una serie de datos con los que se realizan predicciones y se toman decisiones. Estos algoritmos se pueden usar para la toma de decisiones de distintos tipos como por ejemplo diagnósticos médicos, previsiones de energía y transacciones en los mercados bursátiles (Machine Learning, s.f.).

Principalmente se utiliza cuando se tiene una serie de datos muy extensa entre los que no hay fórmulas concretas que los relacionen, tienen ecuaciones muy complejas o cuando las reglas van cambiando. También es de mucha utilidad cuando los datos son los que cambian continuamente y es el programa el que tiene que ir adaptándose con la actualización de dichos datos (Machine Learning, s.f.). Este trabajo va a consistir en este último caso, en el que se tiene una serie de precios de acciones de empresas que se van actualizando día a día.

Cada análisis lleva acabo tres fases (Vazquerizo, 2010):

- **Entrenamiento:** trabaja con los datos de entrenamiento para predecir un modelo.
- **Validación:** selecciona el mejor de los modelos anteriores para conseguir el menor error.
- **Test:** usa datos reservados específicamente para el test, a través del cual detecta el error real cometido.

El aprendizaje automático se divide según dos tipos de técnicas como se aprecia en la figura 5.

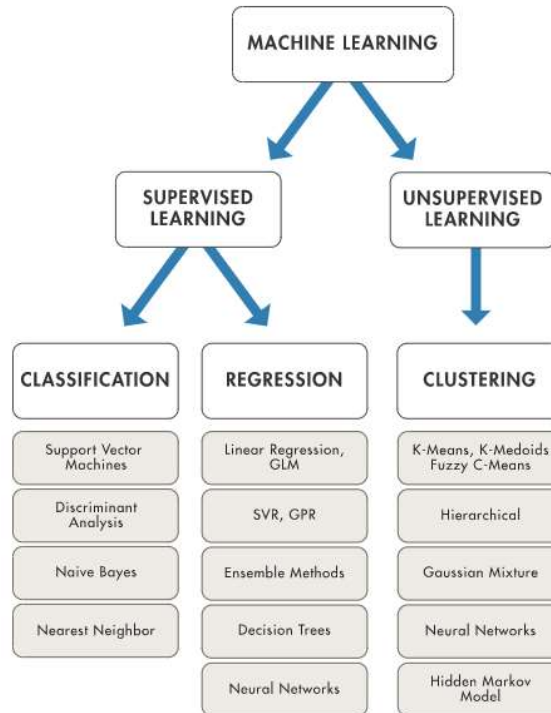


Figura 5: Tipos de aprendizaje automático y sus algoritmos (Machine Learning, s.f.)

2.3.1 TIPOS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

2.3.1.1 Aprendizaje supervisado

El aprendizaje supervisado desarrolla un modelo de predicción para la toma de decisiones basándose en las entradas de los datos seleccionados (variables independientes) y sus respectivas salidas (variables dependientes).

Para el desarrollo de dichos modelos utiliza técnicas de clasificación y regresión:

– Clasificación

Predicen respuestas discretas y se trata de agrupar los datos en grupos.

Los algoritmos utilizados en esta técnica son: máquinas de vectores de soporte (SVM), análisis discriminante, clasificadores bayesianos y vecino más cercano.

Esta técnica se ha aplicado, por ejemplo, para analizar el rendimiento de la Bolsa de India en tiempos difíciles. Se utilizaron datos de enero 2011 a diciembre 2012 de distintas compañías indias, como TCS y RIL. Estos años fueron unos años muy difíciles para el mercado indio. Para este análisis se usaron un 80% de los datos diarios de la Bolsa de Bombay (BSE) para el conjunto de datos de entrenamiento y el 20% restante para las pruebas de validación y test. La clasificación fue según los distintos indicadores elegidos (SMA, MACD y RSI) y predecía las tendencias futuras de los precios para tomar la decisión de comprar, vender o mantener (Thirunavukarasu Anbalagan & Maheswari, 2015).

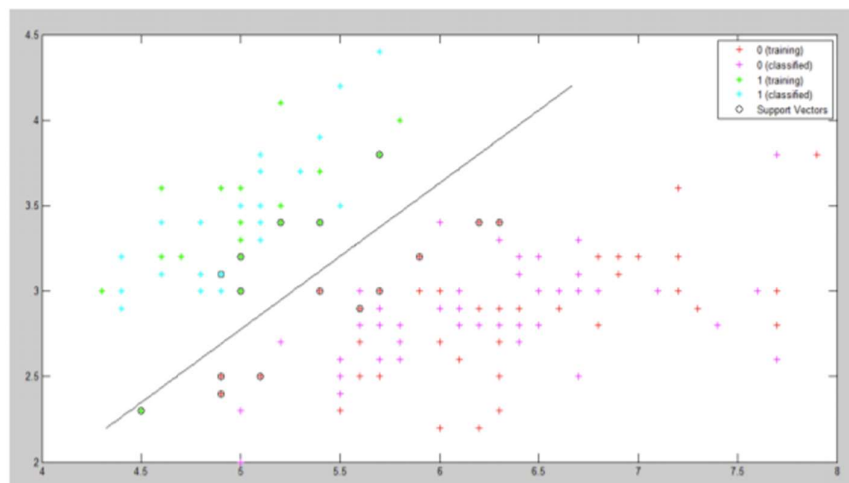


Figura 6: Resultados de clasificación usando SVM (Thirunavukarasu Anbalagan & Maheswari, 2015)

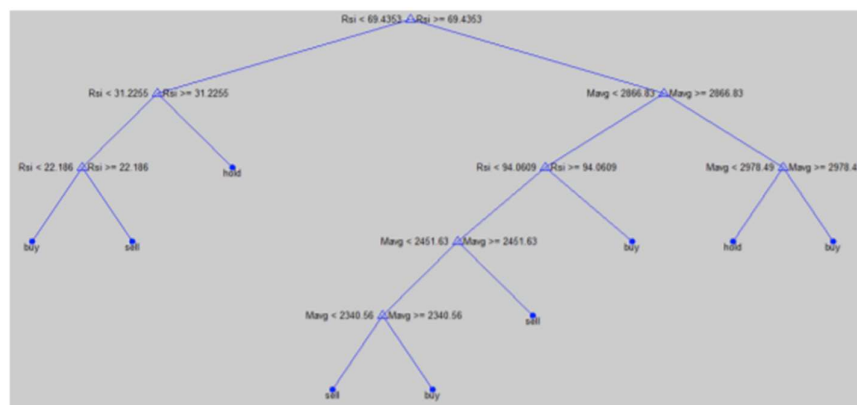


Figura 7: Árbol de clasificación según el análisis (Thirunavukarasu Anbalagan & Maheswari, 2015)

- Regresión

Predicen respuestas continuas, es decir, un resultado cuantitativo.

Los algoritmos utilizados en esta técnica son: regresión lineal, SVR, GPR, métodos conjuntos, árboles de decisión y redes neuronales.

- **Regresión lineal:** es un modelo que relaciona la dependencia entre la variable dependiente y las independientes. Se asume una hipótesis en la que la variable puede ser nula o distinta de cero. Tras el análisis se obtiene el p-value, que cuanto menor sea, más significativa es la variable para el modelo y se rechaza la hipótesis nula.
- **Redes neuronales:** son un conjunto de algoritmos diseñados para reconocer patrones que están inspiradas en los sistemas nerviosos biológicos. Tienen una capa de entrada, un determinado número de capas ocultas y una capa de salida, todas ellas interconectadas por nodos o neuronas a través de las que van pasando los datos desde que entran hasta que salen. Trata de dar respuestas similares a las que puede dar el cerebro (¿Qué es una red neuronal?, s.f.).

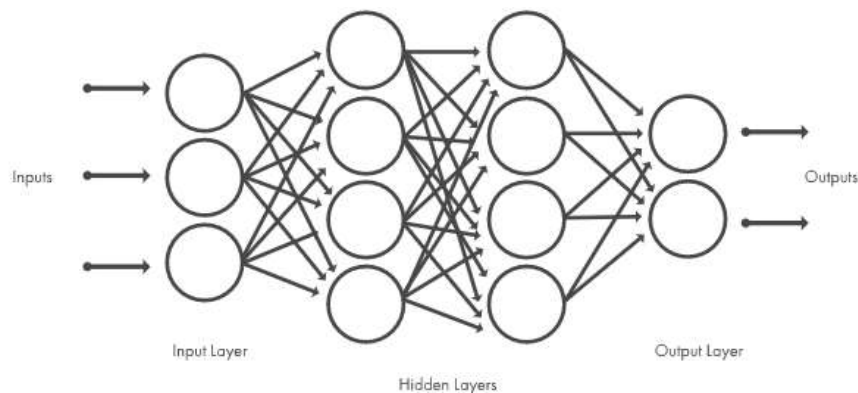


Figura 8: Estructura típica de una red neuronal (¿Qué es una red neuronal?, s.f.)

Su aplicación al trading no conseguirá un 100% de efectividad ya que los mercados dependen de las noticias macroeconómicas, geopolíticas y resultados empresariales que pueden hacer que el precio varíe de manera imprevista. No obstante, si la estrategia es buena, con el uso de aprendizaje automático con redes neuronales se podrá llegar a un resultado de alta eficiencia. Se aprenderá a decidir si es un escenario

alcista o bajista para saber si comprar o vender, analizando al final de cada día si tuvo éxito en la decisión o no (Perez, 2019).

Estas técnicas se han aplicado, por ejemplo, para analizar el precio de las acciones de S&P 500 de forma precisa. Se tomaron datos como variables de entrada de todos los meses entre 1980 y 2008 y se realizó un modelo de regresión para reducir la dimensión de dichas variables identificando cuales tenían mayor relación con el precio del mercado de este índice. Se consideró que las variables con un p-value menor de 0.005 contenían la información adecuada para predecir el precio futuro de las acciones del índice. Después, propone una estructura en la que se dividen las distintas capas de la red neuronal con distintos métodos con los que lleva a cabo su estrategia (Enke, Grauer, & Mehdiyev, 2011).

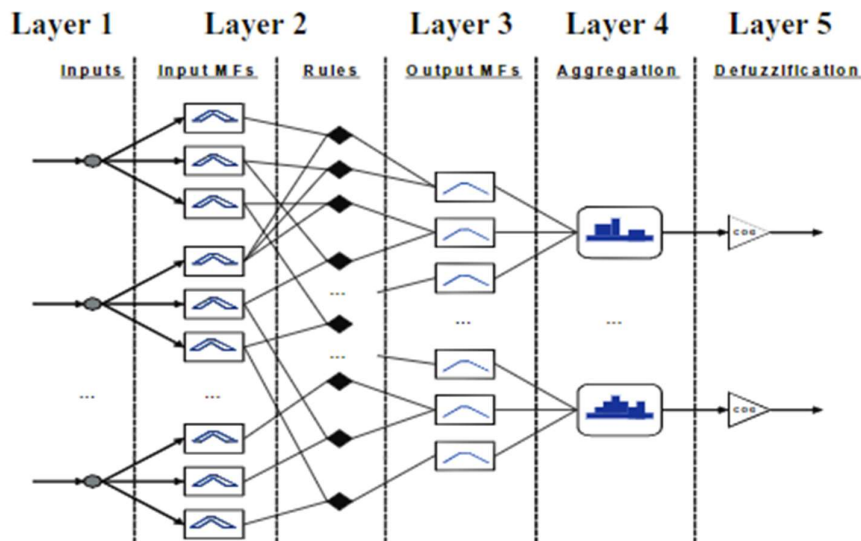


Figura 9: Estructura de la red neuronal utilizada para predecir el precio de las acciones de S&P500 (Enke, Grauer, & Mehdiyev, 2011)

2.3.1.2 Aprendizaje no supervisado

El aprendizaje no supervisado desarrolla un modelo de predicción para la toma de decisiones basándose en las observaciones. Agrupa e interpreta los datos de entrada (variables independientes) para conseguir un patrón oculto de los datos. La técnica más utilizada es el clustering.

- Clustering

El clustering consiste en agrupar mediante algoritmos los datos de entrada de forma óptima según la similitud de características entre ellos.



Figura 10: Clustering (Machine Learning, s.f.)

Los algoritmos más utilizados son:

- **K-Means:** a partir del número de clusters, el algoritmo determina un centroide para cada cluster y asigna a cada centroide los datos con menor distancia a ellos. El centroide se desplaza a la media de las variables más cercanas y otros datos se cambian de centroide ya que pasan a estar más cerca de otro centroide debido a dicho desplazamiento. Esto se repite de manera iterada hasta que no hay más cambios (K-Means Clustering: Agrupamiento con Minería de datos, s.f.).

Esta técnica se ha aplicado, por ejemplo, para agrupar compañías de un mercado de valores basándose en la similitud que tenían entre ellas. Rashidi y Analoui en 2007 realizaron un análisis de las compañías del Dow Jones con el fin de identificar un comportamiento temporal similar de los precios de las acciones (Momeni, Mohseni, & Soofi, 2015).

Otra aplicación fue el análisis de Nanda en 2010 que utilizó los rendimientos de las acciones de la Bolsa de Bombay (BSE) de diferentes momentos del año 2007-2008 para gestionar la cartera. Además, comparando este resultado con el de otros algoritmos resultó que era el mejor para minimizar el riesgo (Momeni, Mohseni, & Soofi, 2015).

- Clustering jerárquico:** agrupa los datos basándose en la correlación entre cada uno de ellos. Los datos se pueden agrupar de manera aglomerativa, en la que cada dato es un cluster y se va agrupando con el que mayor correlación tenga, hasta llegar a un último y único cluster, o inversamente, de manera divisible, en la que parte de un único cluster y se va dividiendo en clusters más pequeños (Algoritmos de Data Mining para agrupar datos – Clustering Jerárquico, s.f.).

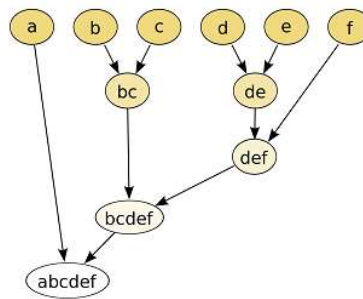


Figura 11: Clustering jerárquico (Algoritmos de Data Mining para agrupar datos – Clustering Jerárquico, s.f.)

Esta técnica se ha aplicado, por ejemplo, para analizar la correlación entre la rentabilidad de 10 valores de la bolsa de Nueva York entre enero de 2001 y diciembre de 2003. En la figura 12 se muestra el árbol jerárquico con los valores analizados y cada color muestra el sector al que pertenecen (financiero: verde, tecnológico: rojo y energético: azul) (Tumminello, Lillo, & Mantegna, 2008).

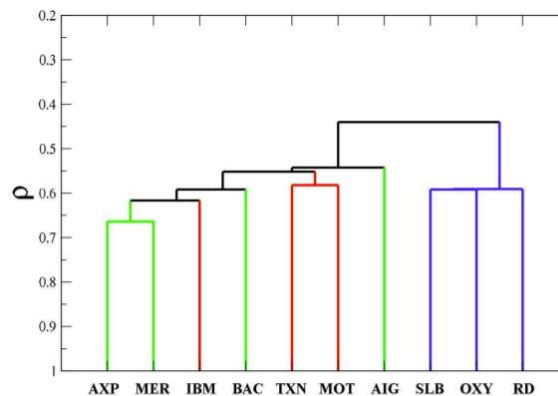


Figura 12: Clustering jerárquico de valores de la bolsa de Nueva York (Tumminello, Lillo, & Mantegna, 2008)

- GMM (Mezclas gaussianas):** este algoritmo supone que los datos están distribuidos por Gauss y determina los clusters según la media y la desviación estándar. Para

encontrar la media y desviación utiliza un algoritmo llamado maximización de expectativas, en el que agrupa los datos en clusters de manera iterativa con el fin de maximizar la probabilidad de los datos de estar dentro del cluster según la distribución gaussiana (Algoritmos de Agrupamiento, s.f.).

Esta técnica se ha aplicado, por ejemplo, para agrupar los valores de S&P 500 según sus rentabilidades mensuales entre 1871 y 2005 y las diarias entre 2001 y 2005. Se comprobó que los datos de la rentabilidad diaria eran mucho más simétricos que la mensual (Behr & Potter, 2007).

❖ **Redes neuronales** (explicado anteriormente en aprendizaje supervisado).

2.4 COMBINACIÓN DEL RSI Y EL APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

Hay muchos estudios en los que se combina el RSI y el aprendizaje automático.

En este trabajo, se ha profundizado en la combinación del RSI y las redes neuronales. En concreto en este apartado se ha analizado un estudio que explica la combinación entre el RSI y las redes neuronales para la predicción del precio futuro de las acciones.

El uso de inteligencia artificial en las finanzas para predecir los precios de las acciones en los mercados no es nuevo, ya se usaban matemáticas avanzadas y ciencia. Gracias a la inteligencia artificial, muchos científicos han ido desarrollando nuevos algoritmos para automatizar la predicción del precio de las acciones, basándose en técnicas de lógica, de probabilidad y de redes neuronales para controlar el movimiento de los mercados.

Cabe destacar el CAST (Chartist Analysis System for Trading), una herramienta diseñada para mejorar las técnicas de inversión utilizadas en los sistemas de trading, aplicada a la bolsa española, basada en la nueva forma de calcular el índice de fuerza relativa (RSI). Este avance se basa en el uso de aprendizaje automático, en concreto de redes neuronales, para calcular de forma más precisa el RSI, al cual llaman iRSI (improved RSI) (Rodríguez-González, García-Crespo, Colomo-Palacios, Iglesias, & Gómez-Berbís, 2011).

Las redes neuronales se han convertido en un método importante para el análisis de mercados ya que se pueden aplicar a mercados financieros complejos. Con el paso del tiempo, va creciendo la inversión de que hacen las instituciones financieras para el desarrollo de modelos basados en redes neuronales. Estos modelos son capaces de aprender de las tendencias del pasado y elaborar modelos generalizados para la predicción del precio futuro adaptándose a las condiciones del mercado (Rodríguez-González, García-Crespo, Colomo-Palacios, Iglesias, & Gómez-Berbís, 2011).

H. White (White, 1988) fue el primero en usar redes neuronales para el mercado financiero a finales de 1980s, y más tarde Kimoto, Asakawa, Yoda y Takeoka en 1990 (Kimoto, Asakawa, Yoda, & Takeoka, 1990) usaron distintos algoritmos para crear métodos de predicción en el mercado de Tokyo (Tokyo Stock Exchange Prices Index).

Como se ha explicado en el capítulo 2.1.2. el RSI es un oscilador que mide la velocidad y dirección del movimiento del precio según los cambios que experimenta de subida o de bajada. Según J. Welles Wilder (Wilder, 1978), el uso de una ventana 14 era el mejor ya que era la mitad de un ciclo lunes. Sin embargo, demuestran que depende del mercado, de la compañía o de las distintas características del análisis a realizar no siempre es la mejor.

Distintos estudios evalúan cómo calcular la mejor ventana. A partir de estos, se dan cuenta que las redes neuronales no daban el mejor resultado respecto a la ventana, pero sí lo conseguían a la hora de calcular el RSI directamente. Con el objetivo de mejorar estos valores apareció el CAST, que es un sistema capaz de predecir valores de RSI para mercados concretos. Esto lo que busca es obtener resultados generales del RSI para cierto mercado, el cual se pueda usar para compañías concretas añadiendo ciertos factores correctivos (Rodríguez-González, García-Crespo, Colomo-Palacios, Iglesias, & Gómez-Berbís, 2011).

La figura 13 muestra la estructura general de un sistema de este tipo.

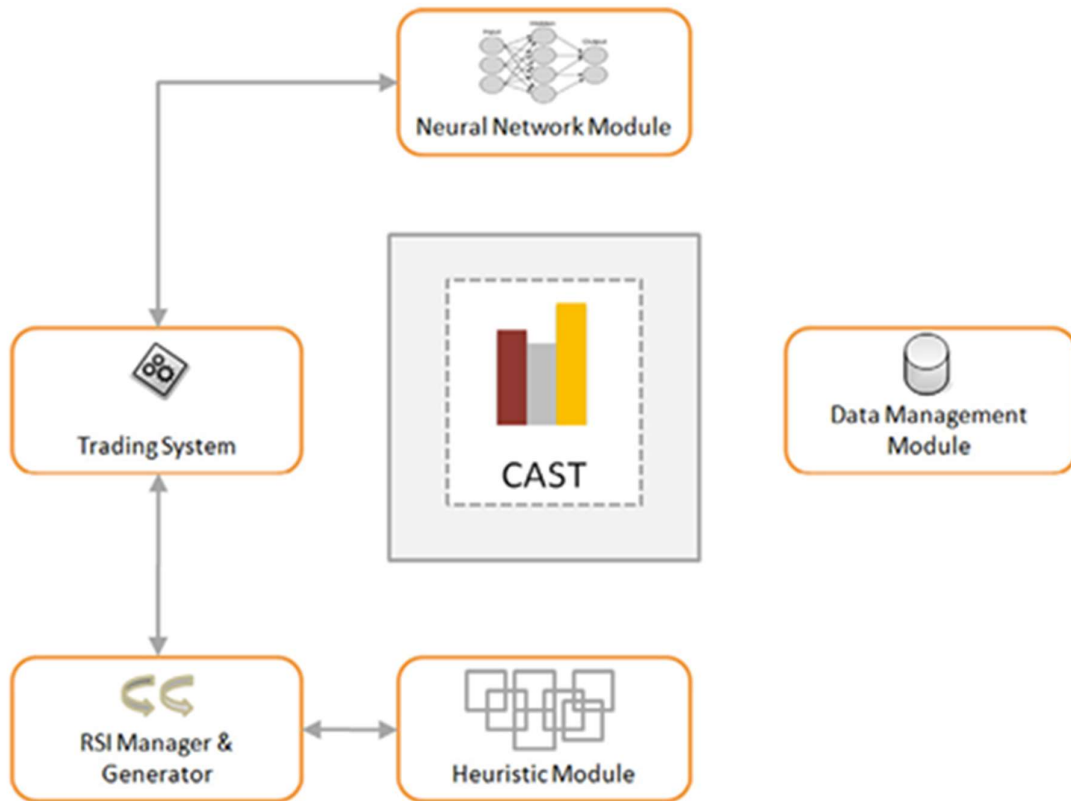


Figura 13: Estructura general del sistema de predicción

❖ Redes neuronales:

La figura 14 muestra una red neuronal. Estas redes neuronales determinan un RSI que es el indicador que se usará para decidir si invertir o no en una compañía.

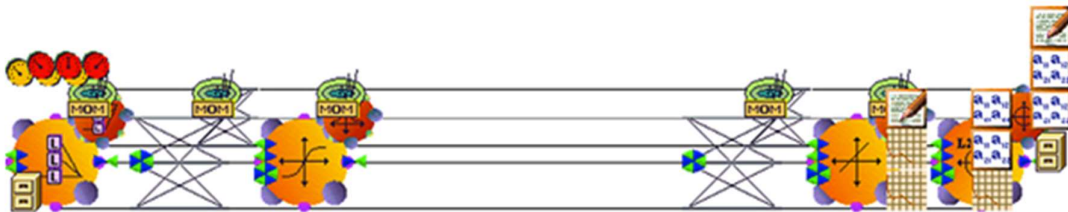


Figura 14: Red neuronal de complejidad baja

La figura 15 muestra una estructura general de red neuronal:

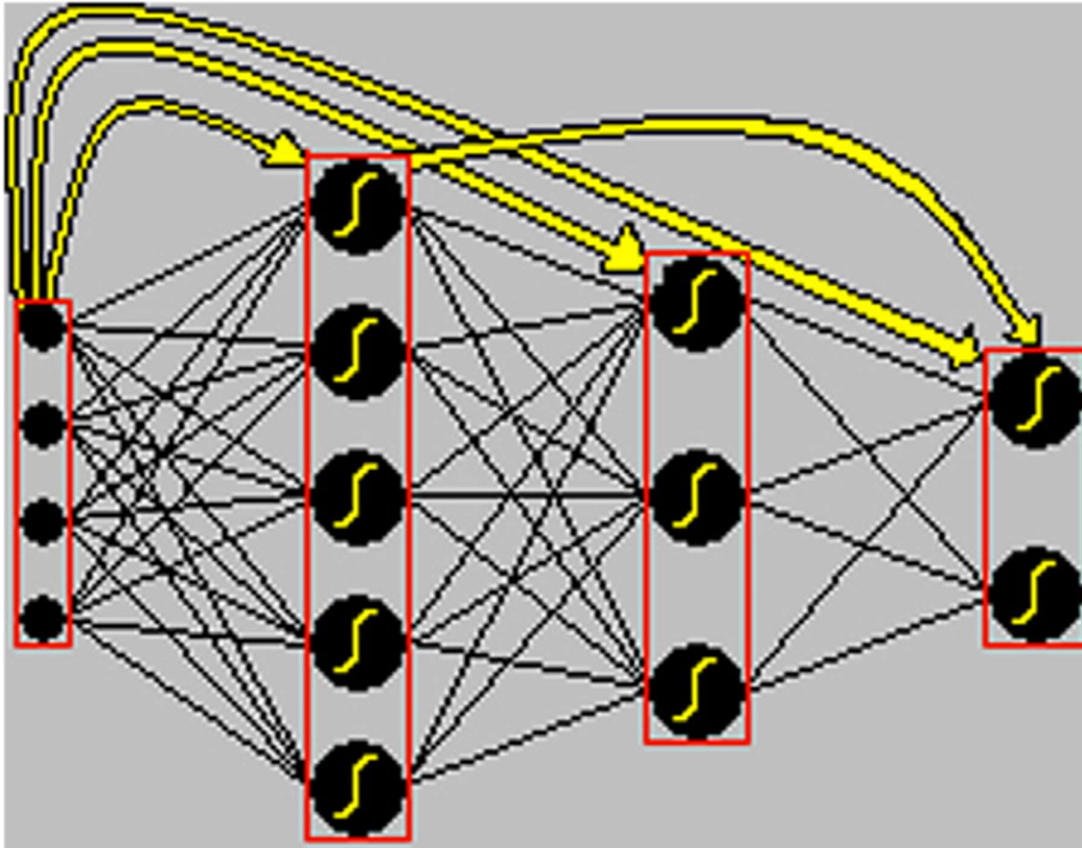


Figura 15: Capas de una red neuronal

En este estudio en concreto utilizan como entradas los valores de la tabla 5 y como estructura de la red los valores de la tabla 6.

Input values	Explanation
IBEX35 action value	Value of the market for a concrete day
RSI(9)	Calculus of RSI value using $N = 9$
RSI(14)	Calculus of RSI value using $N = 14$
RSI(30)	Calculus of RSI value using $N = 30$
RSI optimal	Calculus of optimal RSI using Heuristic*

Tabla 5: Valores de entrada a la red neuronal

Layer	Input neurons	Output neurons	Activation function
Input	5	15	Laguarre (3 taps, 1 tap delay)
Hidden	15	10	TanH
Output	10	1	Bias

Tabla 6: Datos de la estructura de la red neuronal (complejidad baja)

Pring (Pring, 1991) resaltó que el número de días dependía de si estabas mirando una predicción a corto plazo o largo plazo. Para ello determinó 9 días como periodo de corto plazo y 22 de largo plazo, aunque en la literatura muchos autores decidieron tomar 30 como periodo de largo plazo.

En este estudio utilizaron solo una capa oculta porque según George Cybenko (Cybenko, 1989) una capa es suficiente y dos solo se utiliza cuando se trabaja con datos con discontinuidades. Defiende que no hay razón para usar dos capas ya que rara vez mejora el modelo respecto a usar una sola capa oculta. No obstante, lo más importante es el número de neuronas que se utiliza en la capa oculta, ya que si no se usa un número adecuado la red no será capaz de trabajar con datos complejos. Murata, Yoshizawa y Amari (Murata, Yoshizawa, & Amari, 1994) establecen unas normas para determinar el número de neuronas de la capa oculta:

- Debe estar entre el tamaño de la capa de entrada y el de la capa de salida.
- Debe ser $2/3$ del tamaño de la capa de entrada más el tamaño de la capa de salida.
- Debe ser más pequeño que el doble de tamaño de la capa de entrada.

Aun considerando estas normas explicadas, en este estudio no daba buenos resultados por lo que se utilizaron los datos que muestra la tabla 6.

Además, una red neuronal suele tener distintos pesos para conseguir una solución óptima. La red neuronal no suele ser un modelo lineal, sino que la salida como función de sus entradas suele ser no lineal, haciendo la optimización más compleja. Para ello se determinan distintas funciones de activación, como se ven en la tabla 6 (Rodríguez-González, García-Crespo, Colomo-Palacios, Iglesias, & Gómez-Berbís, 2011):

- Lguarre: se crea a partir de un filtro de paso bajo con un polo en $z = (1 - m)$ seguido de una cascada de k funciones, proporcionando una memoria recursiva del pasado de la señal de entrada. Implementa una estructura de memoria vectorial con una profundidad igual a k/m , donde k es el número de tomas (taps) y es el coeficiente de Lguarre. El coeficiente se implemente mediante el vector axón de pesos. El parámetro de tomas, t es ajustable según el w y z :

$$T^0(z, w_i) = \frac{\sqrt{1 - (1 - w_i)^2}}{1 - (1 - w_i)z^{-t}} \quad T^k(z, w_i) = \frac{1 - (1 - w_i)}{z^{-t} - (1 - w_i)} \quad k > 0$$

Ecuación 3: Función de activación tap

- TanH:

$$\tanh(u) = \frac{e^u - e^{-u}}{e^u + e^{-u}}$$

Ecuación 4: Función de activación tangente hiperbólica

- Bias:

$$f(x_i, w_i) = x_i + w_i$$

Ecuación 5: Función de activación bias

❖ Sistema de trading:

El sistema de trading CAST es el que analiza el resultado obtenido de la red neuronal. Al consultar el CAST, este coge valores del mercado y los consulta con la red neuronal para hacer predicciones sobre dicho mercado. En caso de querer hacer predicciones sobre una compañía en concreto se utiliza el método heurístico. El método que se utiliza con el RSI obtenido de la red neuronal trata de compararlo con dos umbrales, de 30 el de compra y de 70 el de venta. Estos valores son los que determina la literatura, pero siempre se puede cambiar a valores superiores o inferiores para conseguir el mejor resultado (Rodríguez-González, García-Crespo, Colomo-Palacios, Iglesias, & Gómez-Berbís, 2011).

❖ Módulo de gestión de datos:

El módulo de gestión de datos es el sistema encargado de obtener los datos necesarios para hacer funcionar el sistema. Los datos que obtener según cada caso son:

- Trading en el mercado:
 - o El valor del mercado
 - o La fecha del dato
- Trading en una compañía en concreto:
 - o El valor del mercado
 - o El valor de la compañía
 - o La fecha del dato

El resto de los valores los calculará el sistema utilizando estos datos como base (Rodríguez-González, García-Crespo, Colomo-Palacios, Iglesias, & Gómez-Berbís, 2011).

❖ **Generador del RSI:**

El generador del RSI es el módulo encargado de generar los valores del RSI según la fórmula explicada en el apartado 2.1.2. utilizando una ventana entre 5 y 35. Este es el dato que se utilizará como entrada en la red neuronal (Rodríguez-González, García-Crespo, Colomo-Palacios, Iglesias, & Gómez-Berbís, 2011).

Además, también hay que calcular el RSI óptimo:

- RSI óptimo para la predicción del mercado: mediante la función heurística.
- RSI óptimo para la predicción de una compañía en concreto:
 - o RSI óptimo sin memoria: mediante la función heurística teniendo en cuenta los valores de las acciones durante todo el periodo sin modificaciones, por lo que no se almacenan los RSIs anteriores y se utilizarán solo el RSI del día anterior y del mismo día.
 - o RSI óptimo con memoria: se determina una fecha concreta en el pasado y se utilizan los RSIs calculados desde esa fecha como referencia.

❖ **Módulo heurístico**

El módulo heurístico es el encargado de manejar las fórmulas para generar los valores óptimos para el RSI.

- RSI óptimo para la predicción del mercado:

$$RSI = C1 + C2 * Market + C3$$

Ecuación 6: RSI óptimo para la predicción del mercado

- RSI óptimo para la predicción de una compañía en concreto:

- o Sin memoria:

$$RSI_{today} = C1 + (C2 * v_{MT}) + C3$$

Ecuación 7: Fórmula del RSI today

$$RSI_{yday} = C1 + (C2 * v_{MY}) + C3$$

Ecuación 8: Fórmula del RSI yesterday

$$restRSI = RSI_{today} - RSI_{yday}$$

Ecuación 9: Fórmula del restRSI

$$growthRateCompany = \frac{v_{CT} - v_{CY}}{v_{CY}}$$

Ecuación 10: Fórmula del growth rate de una compañía

$$growthRateMarket = \frac{v_{MT} - v_{MY}}{v_{MY}}$$

Ecuación 11: Fórmula del growth rate del mercado

$$RSI = RSI_{yday} + (restRSI * \frac{growthRateCompany}{growthRateMarket})$$

Ecuación 12: Fórmula del RSI sin memoria

- o Con memoria:

$$RSI = RSI_{yday} + (restRSI * \frac{growthRateCompany}{growthRateMarket})$$

Ecuación 13: Fórmula del RSI con memoria

La diferencia entre el cálculo con memoria o sin memoria es que en el caso sin memoria se utiliza el valor del mercado del día anterior para calcular el RSI_{yday} mientras que en el caso con memoria se utiliza el valor de la compañía el día anterior. De esta manera, en el caso con memoria el RSI de cada compañía tendrá un RSI con una tendencia no necesariamente

ligada a la del mercado (Rodríguez-González, García-Crespo, Colomo-Palacios, Iglesias, & Gómez-Berbís, 2011).

Siendo:

- Cn parámetros de corrección según cada caso
- T: hoy
- Y: ayer
- M: mercado
- C: compañía

2.4.1 EVALUACIÓN DE UN CASO GENERAL

Se ha realizado un estudio de varias redes neuronales con distintas configuraciones con el objetivo de determinar la que mejor resultados de para el CAST (Rodríguez-González, García-Crespo, Colomo-Palacios, Iglesias, & Gómez-Berbís, 2011).

La muestra utilizada estaba compuesta de 4061 precios de acciones del IBEX35 durante 16 años. De estos datos el 80% se utilizó para el entrenamiento y el 20% para la validación (812 precios).

Para el análisis se han seguido los siguientes pasos:

1. Establecer una configuración de redes neuronales válida para el cálculo del RSI, en función de los siguientes parámetros:
 - Complejidad: dependiendo del valor, la topología y los valores de la red cambian. Estos valores pueden ser:
 - Baja complejidad: la red neuronal tiene una capa escondida. La tabla 2 muestra los valores de esta topología.
 - Media complejidad: la red neuronal tiene dos capas escondidas. La tabla 3 muestra los valores de esta topología.

Layer	Input neurons	Output neurons	Activation function
Input	32	165	Laguarre (5 taps, 1 tap delay)
Hidden 1	165	3	TanH + Laguarre (1 tap/delay)
Hidden 2	3	1	TanH + Laguarre (1 tap/delay)
Output	1	1	Bias

Tabla 7: Datos de la estructura de la red neuronal (complejidad media)

La figura 16 representa una red neuronal de complejidad media:

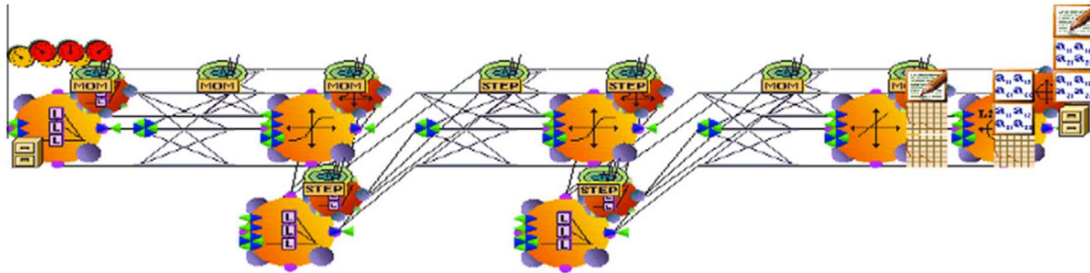


Figura 16: Red neuronal de complejidad media

- Número de parámetros de entrada: indica el número de parámetros de entrada de la red neuronal.
- Parámetros: indica los parámetros que se le da a la red neuronal
 - AV: representa el valor de la acción del mercado
 - RSI[X-Y]: representa el valor del RSI de RSI(X) al RSI(Y)
 - RSI(X,...,Z): representa el valor del RSI(X), RSI(...) y RSI(Z).
 - OR: representa el valor del RSI óptimo

La tabla 8 muestra la topología de distintas redes neuronales válidas:

Name	Complexity	# Input parameters	Parameters
RNAR1	Low	32	AV, RSI [5–35]
RNAR2	Low	2	AV
RNAR3	Low	5	AV, RSI (9, 14, 30)
RNAR4	Medium	32	AV, RSI [5–35]
RNAR5	Medium	2	AV
RNAR6	Medium	5	AV, RSI (9, 14, 30)

Tabla 8: Tabla de redes neuronales usada para predecir el RSI

- Entrenar la configuración de la red neuronal: 10% de la muestra se utilizó para correr 10 veces cada red neuronal para comprobar que funcionaba correctamente.
- Comparar los resultados de cada configuración con una muestra de datos reales mediante dos medidas:
 - Testing-OK: representa el porcentaje de resultados correctos comparando la red neuronal con datos reales.
 - M-Testing-OK: representa el porcentaje de resultados correctos incluyendo datos de confianza para la predicción del RSI.

Después de realizar el Testing-OK y M-Testing-OK, el que mayor porcentaje de es el elegido.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 9:

Name	Complexity	# Input parameters	Parameters	Testing Ok (%)	M-testing Ok (5 VOC) (%)
RN1	Low	32	AV, RSI [5–35]	7.881	65.517
RN2	Low	2	AV	8.867	75.862
RN3	Low	5	AV, RSI (9, 14, 30)	11.084	80.296
RN4	Medium	32	AV, RSI [5–35]	3.941	37.931
RN5	Medium	2	AV	7.882	63.054
RN6	Medium	5	AV, RSI (9, 14, 30)	7.389	53.695

Tabla 9: Tabla de resultados sobre la predicción de la mejor red neuronal

En este caso se ve claramente que la mejor red neuronal es la RN3 ya que alcanza un M-Testing-Ok del 80%, es decir que esta red ha predicho 652 casos de 812, lo cual es un resultado muy preciso.

2.4.2 EVALUACIÓN DE UN CASO REAL

Tras haber elegido la red neuronal más adecuada (RN3) explicado en el apartado 2.4.1. se aplica a un caso real en un determinado periodo de tiempo.

El objetivo de este estudio es determinar si la ventana del iRSI propuesta en este análisis es mejor o no que la ventana 14 de la que habla la literatura determinada por Wilder (RSI14). Para esto, se ha aplicado el CAST en dos escenarios: predicción del mercado, en este caso del IBEX35, y predicción de una compañía en concreto, la cual pertenece al IBEX35. Además, el iRSI se ha calculado con memoria y sin memoria (Rodríguez-González, García-Crespo, Colomo-Palacios, Iglesias, & Gómez-Berbís, 2011).

El método utilizado se trata de elegir un día concreto y ver si se aconseja comprar o vender. Tras haber comprado o vendido, se compara ese valor con un valor final después de un determinado periodo de tiempo (entre uno y siete días). Si el valor es coherente con la predicción, entonces se incrementa un contador de éxito. Finalmente, la puntuación que se usa es operaciones de éxito/operaciones totales.

La muestra utilizada en este caso son los datos obtenidos del 16 de diciembre de 2005 al 27 de octubre de 2009, en total 812 valores.

Los resultados obtenidos para el análisis del mercado se muestran en la tabla 10.

Period	RSI14 (%)	iRSI (%)
1 Day	45.65	53.83
2 Days	43.00	55.46
3 Days	43.48	56.15
4 Days	42.27	58.47
5 Days	41.79	58.61
6 Days	41.79	58.61
7 Days	42.27	58.20

Tabla 10: Resultados del estudio de comparación del RSI14 y el iRSI del IBEX35

En este caso se ve claramente cómo los resultados son mejores con el iRSI, en concreto para 5 y 6 días, obteniendo unos resultados mayores de 58.61%.

Los resultados obtenidos para el caso de compañías concretas del IBEX35 se muestran en las tablas 11, 12 y 13:

Company	RSI14 PR 1D (%)	RSI14 PR 2D (%)	RSI14 PR 3D (%)	RSI14 PR 4D (%)	RSI14 PR 5D (%)	RSI14 PR 6D (%)	RSI14 PR 7D (%)
Enagas	52.36	56.22	54.51	56.22	57.51	57.94	55.36
ACS	43.60	46.71	44.29	41.18	41.52	41.18	42.21
Inditex	49.78	48.89	49.33	49.78	48.00	45.33	43.11
Telecinco	44.30	44.73	45.15	45.15	40.93	41.77	41.77
Santander	49.57	50.00	53.02	55.60	53.02	50.43	50.43
Indra	58.38	59.46	62.70	63.78	65.95	65.41	65.41
Abengoa	52.40	50.92	48.71	50.18	47.97	49.45	51.29
Iberia	48.28	49.43	42.53	43.30	38.70	41.38	38.31
Iberdrola	49.29	46.79	46.79	49.29	47.14	44.64	45.71
Repsol	48.24	51.37	52.16	50.98	50.20	53.33	52.55
Sacyr	48.37	46.88	49.85	48.66	45.10	44.81	43.03
BBVA	47.58	50.40	50.81	52.02	49.60	51.21	50.00
Banesto	42.97	46.39	45.25	42.21	41.06	38.02	39.92
Telefónica	49.09	48.18	47.73	45.91	46.82	46.82	46.82
Abertis	55.90	52.31	52.31	49.74	50.26	49.74	47.69

Tabla 11: Resultados del RSI14 para el estudio de comparación del RSI14 y el iRSI de compañías concretas del IBEX35

Company	iRSI PR 1D (%)	iRSI PR 2D (%)	iRSI PR 3D (%)	iRSI PR 4D (%)	iRSI PR 5D (%)	iRSI PR 6D (%)	iRSI PR 7D (%)
Enagas	46.49	48.43	49.93	48.43	48.58	48.43	47.83
ACS	47.31	50.75	49.85	50.90	51.79	51.49	51.19
Inditex	50.30	52.99	54.34	54.94	53.29	52.10	54.57
Telecinco	49.41	54.45	55.49	56.68	56.97	56.82	56.23
Santander	51.49	52.99	54.48	55.52	55.37	55.52	55.97
Indra	48.49	53.02	54.38	55.89	56.19	55.44	55.29
Abengoa	53.93	53.78	52.15	52.59	53.33	52.15	52.74
Iberia	49.93	49.93	48.14	50.07	49.48	51.12	51.56
Iberdrola	53.06	52.61	53.50	53.50	54.25	52.61	53.35
Repsol	56.54	53.83	50.38	52.33	52.78	51.43	52.48
Sacyr	55.44	55.14	55.14	56.80	57.40	57.85	59.67
BBVA	54.40	52.91	54.99	54.99	54.55	54.55	54.40
Banesto	52.02	53.36	53.66	54.41	55.46	54.26	55.31
Telefónica	48.80	49.10	49.40	48.05	47.46	47.46	47.90
Abertis	52.82	51.48	51.63	53.41	53.56	54.45	54.38

Tabla 12: Resultados del iRSI calculado sin memoria para el estudio de comparación del RSI14 y el iRSI de compañías concretas del IBEX35

Company	iRSI PR 1D (%)	iRSI PR 2D (%)	iRSI PR 3D (%)	iRSI PR 4D (%)	iRSI PR 5D (%)	iRSI PR 6D (%)	iRSI PR 7D (%)
Enagas	50.39	52.70	54.44	55.02	55.98	55.41	56.37
ACS	47.03	51.40	52.62	52.62	52.27	52.27	54.02
Inditex	49.65	50.53	51.41	51.94	51.94	50.88	52.30
Telecinco	45.73	46.68	46.99	48.73	47.78	50.63	49.92
Santander	50.29	50.44	51.32	52.20	52.05	54.11	54.55
Indra	48.55	51.06	52.22	54.34	56.65	55.30	55.11
Abengoa	51.04	49.87	48.04	49.74	50.26	49.48	50.72
Iberia	47.30	47.67	47.42	48.77	48.77	50.49	51.91
Iberdrola	49.41	48.50	49.15	48.37	49.15	46.68	47.72
Repsol	56.27	54.53	54.00	55.33	57.33	56.00	57.47
Sacyr	49.14	48.78	48.78	50.00	49.88	49.27	50.98
BBVA	54.45	53.82	56.01	56.47	56.79	57.57	57.57
Banesto	51.36	50.15	51.97	52.27	53.18	52.12	54.55
Telefónica	48.55	48.06	48.87	48.39	48.23	48.06	49.19
Abertis	50.86	49.88	49.75	51.48	52.71	54.06	53.69

Tabla 13: Resultados del iRSI calculado con memoria para el estudio de comparación del RSI14 y el iRSI de compañías concretas del IBEX35

Al observar estas tres tablas, se puede apreciar que la opción que mejor resultados da es el iRSI sin memoria, la cual tiene la menor desviación estándar y es más precisa ya que tiene porcentajes más altos que los otros métodos. Además, demuestra que lo mejor es utilizar un

periodo temporal de 7 días. No obstante, hay algunas compañías como por ejemplo Indra, que tienen una mejor predicción con el RSI14.

En resumen, comparando las tres estrategias, los resultados obtenidos fueron de media 48,92% el RSI14, 52,76% el RSI optimizado sin memoria y 51,47% el RSI optimizado con memoria. Además, la mejor predicción para el RSI tradicional era con un horizonte de 2 días (49.91%) y para el RSI optimizado sin memoria y con memoria con un horizonte de 7 días (53,52% y 53,07%). Los resultados son muy parecidos por lo que no se puede concluir cuál es la mejor estrategia con mucha certeza, pero sí se puede deducir que el RSI14 es mejor para un horizonte de pocos días y el RSI optimizado para un horizonte mayor.

Capítulo 3. RSI (RELATIVE STRENGTH INDEX)

3.1 INTRODUCCIÓN

Como ya se ha explicado anteriormente, el RSI (Relative Strength Index, o índice de fuerza relativa en español) es uno de los osciladores más populares en el mundo del trading últimamente. Fue inventado en 1978 por J.Welles Wilder que buscaba medir la fuerza de la tendencia del precio computando el número de sesiones alcistas respecto a las bajistas en un periodo de tiempo determinado. (Rabassa, El indicador RSI y sus trucos, 2019).

Es un indicador muy útil a corto plazo y fácil de interpretar que permite detectar la tendencia en el mercado de valores. Es un oscilador que fluctúa en un rango de 0 a 100%.

Su función principal es dar señales de compra o venta para saber cuándo hay que comprar o vender acciones para entrar o salir del mercado. Estas señales se dan cuando el oscilador cruza ciertos umbrales. Según lo que dice la literatura, estos umbrales son 30% y 70%. Por debajo de 30% se consideran niveles de sobreventa, y por encima de 70% niveles de sobrecompra. Sobreventa significa que la gente quiere salir del mercado, hay exceso de oferta y los precios bajan por lo que es el momento de comprar y sobrecompra significa que la gente quiere entrar en el mercado, hay exceso de demanda y por eso los precios suben, por lo que es el momento de vender. Normalmente se da señal de compra cuando el RSI cruza el umbral de 30% en sentido ascendente y se da señal de venta cuando cruza el umbral de 70% en sentido descendente. Además, se usan periodos de 14 días, es decir, se utilizan 14 precios de cierre diario para calcular el RSI. Cuánto más corto es el periodo, más volátil es el oscilador.

En definitiva, los parámetros de configuración estándar del RSI son una ventana de 14 días y umbrales de 30% en sentido ascendente y de 70% en sentido descendente. No obstante, estos números y sentidos de la dirección del oscilador pueden variar según como se quiera adaptar la estrategia (de la Fuente, 2018).

3.2 FÓRMULA DE CÁLCULO

Para calcular el RSI se determina la media de sesiones alcistas respecto a las bajistas en un periodo de tiempo determinado (Sevilla, 2021).

La fórmula es la siguiente:

$$RSI = 100 - \frac{100}{1 + RS}$$

Ecuación 14: Fórmula del RSI

$$RS = \frac{\text{Media de las subidas}}{\text{Media de las bajadas}}$$

Ecuación 15: Fórmula del RS

La media de las subidas es la media de la diferencia precios de los días que suben y la media de bajada es la media de la diferencia de precios de los días que bajan. Por ejemplo:

Precios de 14 días de una acción:

6.02 – 5.95 – 5.95 – 5.98 – 5.83 – 5.81 – 5.86 – 6.06 – 6.09 – 6.07 – 6.03 – 6.00 – 6.05 – 6.06

$$\text{Media de las subidas} = \frac{0.03 + 0.05 + 0.2 + 0.03 + 0.05 + 0.01}{14} = 0.0264$$

Ecuación 16: Ejemplo de media de las subidas

$$\text{Media de las bajadas} = \frac{0.07 + 0.15 + 0.02 + 0.02 + 0.04 + 0.03}{14} = 0.0235$$

Ecuación 17: Ejemplo de media de las bajadas

$$RS = \frac{0.0264}{0.0235} = 1.12$$

Ecuación 18: Ejemplo del RS

$$RSI = 100 - \frac{100}{1 + 1.12} = 52.83$$

Ecuación 19: Ejemplo del RSI

3.3 ESTRATEGIA DE INVERSIÓN

El RSI es un indicador muy bueno para identificar cuándo hay que entrar o salir del mercado y para ello desarrolla estrategias de inversión. Según los parámetros y condiciones establecidas en la estrategia, dará señales de compra y venta unos días u otros. Estas

estrategias seguirán una estructura parecida, comprando acciones en momentos de sobreventa cuando el precio es más barato y vendiendo acciones en momentos de sobrecompra cuando el precio es más caro.

Para conseguir la estrategia adecuada se pueden modificar algunos parámetros. Se puede variar el periodo de días seleccionado (la ventana), los umbrales de compra y venta y el sentido de cruce del umbral para dar la señal de compra o venta. El sentido de cruce del umbral se refiere a que se puede dar señal de compra o venta cuando cruza el umbral superior o inferior en sentido ascendente o descendente. El análisis se realiza el día anterior al que se da la señal.

Además, también se quiere analizar si influye la tendencia de la acción. Hay acciones con tendencia alcista, que está subiendo el precio continuamente, de tendencia bajista, que está bajando el precio continuamente o de movimiento lateral, que el precio sube y baja. Por ello, se ha seleccionado tres acciones que tengan tendencias diferentes y que sean conocidas para determinar si influye dicha tendencia en la estrategia o no.

Las rentabilidades que se calculan en las estrategias de inversión en este proyecto no son geométricas, es decir, que se invierte la misma cantidad en cada operación. Cada vez que se realiza una operación se retira lo que se gana o se repone lo que se pierde. Por ejemplo, si se invierte un capital de 1\$ y en una operación se gana el 10%, se retira ese 0.1\$ ganado y se vuelve a invertir 1\$, o por el contrario, si al realizar la operación se pierde el 10%, entonces se repone ese 0.1\$ perdido para volver a invertir 1\$ como en el inicio.

Por último, en cada análisis se han mostrado cuatro gráficas. Por un lado, las de la izquierda, la primera es el precio de apertura de la acción, la segunda la gráfica del RSI y la tercera la rentabilidad activa (azul) y pasiva (naranja). En estas gráficas el símbolo Δ es una señal de compra y el símbolo ∇ es una señal de venta. Por otro lado, en la gráfica de la derecha se ve la rentabilidad bruta (la azul), el coste operacional (naranja), la rentabilidad neta (amarilla) y las posiciones abiertas (morada). El coste de operación son las comisiones de bróker. Estas comisiones las gana cada vez que se hace una operación, en este caso son del 0.5% tanto en la compra como en la venta de acciones. Por esto, no siempre es bueno comprar y vender

mucho, a veces compensa comprar o vender menos para pagar menos comisiones y conseguir mayor rentabilidad. El beneficio bruto es antes de pagar comisiones y el beneficio neto es después de haberle pagado las comisiones al bróker. Las posiciones abiertas indican cuál es el número máximo de valores en los que se ha invertido, y en este caso como solo estamos analizando una acción pues será siempre 1/1.

3.3.1 ANÁLISIS EN FUNCIÓN DE LA TENDENCIA DEL PRECIO DE LA ACCIÓN

En este apartado se quiere analizar hasta qué punto la tendencia afecta a la rentabilidad activa obtenida con la estrategia. Para ello se han seleccionado tres valores: Abbott Laboratories de tendencia alcista, General Electric de tendencia bajista y Coca-Cola Europacific Partners de movimiento lateral y se han utilizado los parámetros estándares de ventana 14 y umbrales de compra 30% en sentido ascendente y de venta 70% en sentido descendente.

– Acción con tendencia alcista: Abbott Laboratories

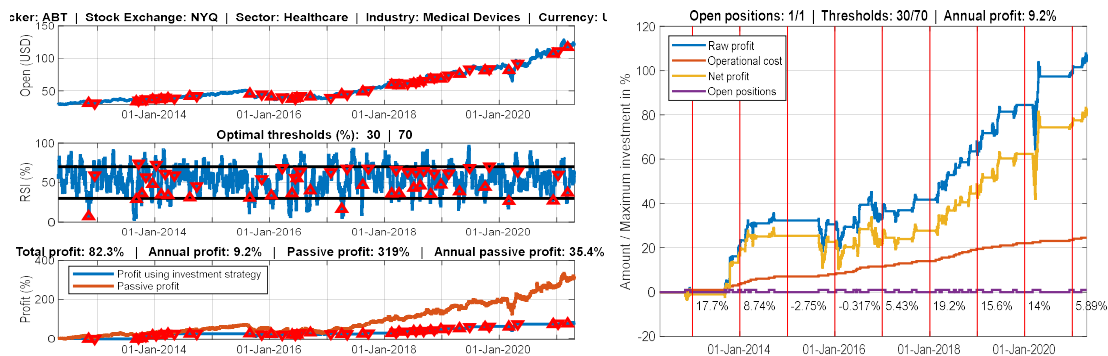


Figura 17: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14 y umbrales 30/70

En la figura 17 se puede apreciar cómo sube la rentabilidad cuando hay tendencia alcista del precio. En los tramos de mayor pendiente positiva de la gráfica de precios, la rentabilidad anual es mayor, por el contrario, cuando hay un poco de bajada de precios, la rentabilidad en ese tramo es negativa. También se ve claramente que la rentabilidad varía cuando hay operaciones, cuando no las hay se mantiene la rentabilidad constante. Además, se ve que hay tramos que no hay casi operaciones, como en el año 2012, principios de 2013 y 2015, porque

al tener tendencia alcista el RSI oscila más en torno a valores superiores al 50% y no corta el umbral inferior.

En concreto en este ejemplo se ve cómo en el año 2016 hay tendencia lateral y la rentabilidad anual de ese año es de -0.317% mientras que en los siguientes cuatro años la tendencia del precio es alcista y las rentabilidades son de 5.43%, 19.2%, 15.6% y 14%. Además, se observa que en el año 2018 y 2019 la tendencia alcista es muy parecida, pero en el año 2018 se hacen once operaciones mientras que en el 2019 solo cinco y por ello la rentabilidad anual en 2018 es mayor.

– Acción con tendencia bajista: General Electric

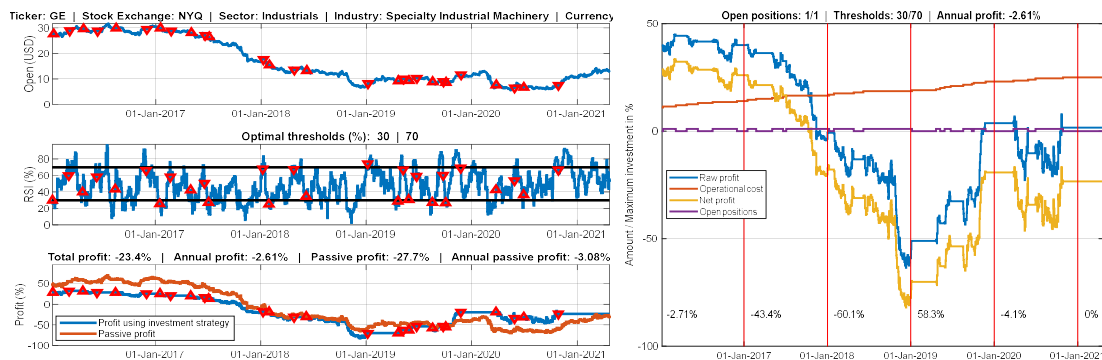


Figura 18: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14 y umbrales 30/70

En la figura 18 se puede apreciar cómo baja la rentabilidad cuando hay tendencia bajista del precio. En los tramos de mayor pendiente negativa de la gráfica de precios, la rentabilidad anual es menor y negativa, por el contrario, cuando hay un poco de subida de precios, la rentabilidad en ese tramo es mayor y positiva. También se ve que hay tramos que no hay casi operaciones, como a finales del año 2017 y 2018, porque al tener tendencia bajista el RSI oscila más en torno a valores inferiores al 50% y no corta el umbral superior.

En concreto viendo estas gráficas, en el año 2016 el precio era más o menos estable y se obtuvo una rentabilidad anual de -2.71%, en cambio en el año 2017 y 2018 el precio va bajando y las rentabilidades anuales de esos años son mucho menores, -43.4% y -60%. Después en el año 2019 el precio vuelve a fluctuar alrededor de 10\$ con tendencia alcista y

la rentabilidad anual de ese año es de 58%, mucho mayor que las anteriores. En este año se demuestra cómo son importantes las oscilaciones del precio, es un año donde se hacen más operaciones que en el resto ya que el precio fluctúa más. Esto se verá con más detalle en el próximo apartado.

- Acción con movimiento lateral: Coca-Cola Europacific Partners

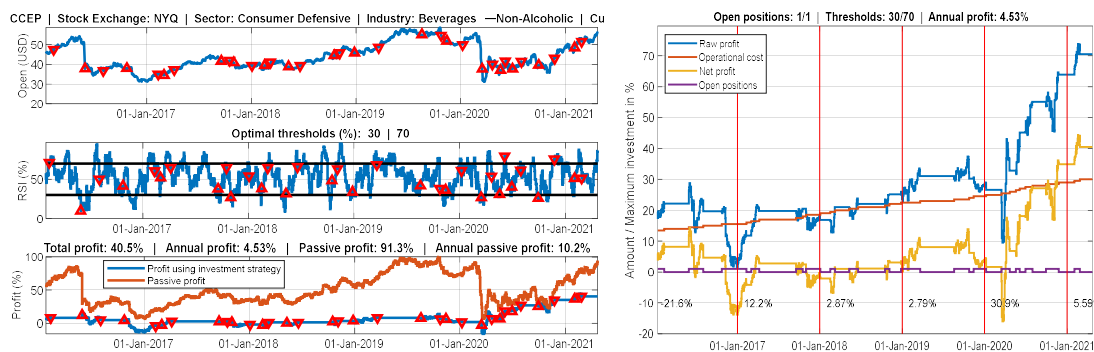


Figura 19: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14 y umbrales 30/70

En este caso con tendencia lateral del precio, se ven tramos de tendencia alcista y otros de tendencia bajista. Por ello tiene rentabilidades anuales muy variables. En el año 2016 con tendencia bajista y solo cuatro operaciones, tiene una rentabilidad negativa de -21.6%, los siguientes tres años sube y la rentabilidad es positiva, con mayor rentabilidad en 2017 ya que tiene más operaciones de venta. Por último, en 2020 tiene una rentabilidad mucho mayor de 30.9% y nueve operaciones en total, cinco de ellas de venta.

En conclusión, sí que tiene influencia la tendencia del precio en la rentabilidad obtenida con la estrategia, cuando es alcista tiene rentabilidades positivas y mayores que cuando es bajista que son negativas. También se ha detectado que cuando el precio es más o menos estable, el RSI se mueve alrededor del nivel 50, cuando hay tendencia alcista se mueve entorno a niveles superiores (más hacia 70), y cuando la tendencia es bajista, entorno a niveles inferiores (más hacia 30). El RSI mide las fluctuaciones del precio, por ello cuanto más oscila el precio, más importancia tiene el RSI y más señales de compra y venta se dan. Si el precio solo sube, el RSI dará una señal de venta y no volverá a dar una señal de compra hasta que cruce el umbral inferior, es decir, hasta que el precio baje, y por tanto también baje el RSI.

Así se ve claramente lo importante que son las oscilaciones del precio para que tenga efecto el oscilador RSI. Además, en estos tres ejemplos la rentabilidad pasiva final es mayor que la activa, por ello se tiene que cambiar los parámetros de la estrategia para conseguir una estrategia que sea más rentable que mantener la acción de manera pasiva (buy & hold).

3.3.2 ANÁLISIS EN FUNCIÓN DE LOS PARÁMETROS ELEGIDOS

En este apartado se ha realizado un análisis de distintas estrategias según los parámetros elegidos. Utilizando el RSI se han cambiado las ventanas y los umbrales de compra y venta, tanto la magnitud como el sentido de la dirección del cruce de dichos umbrales.

3.3.2.1 Según la ventana elegida

Se han analizado las distintas acciones para ventanas de 9, 14 y 19 manteniendo los umbrales estándar de 30/70.

- **Coca-Cola Europacific Partners**
 - **Ventana 9**

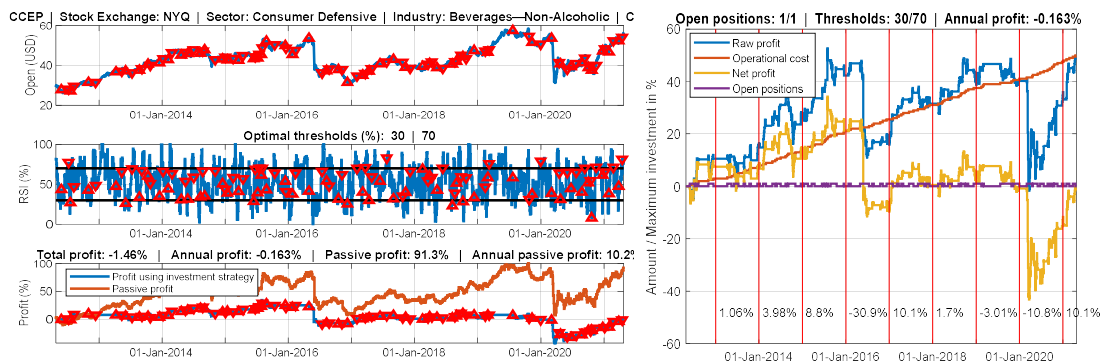


Figura 20: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 9 y umbrales 30/70

■ **Ventana 14**

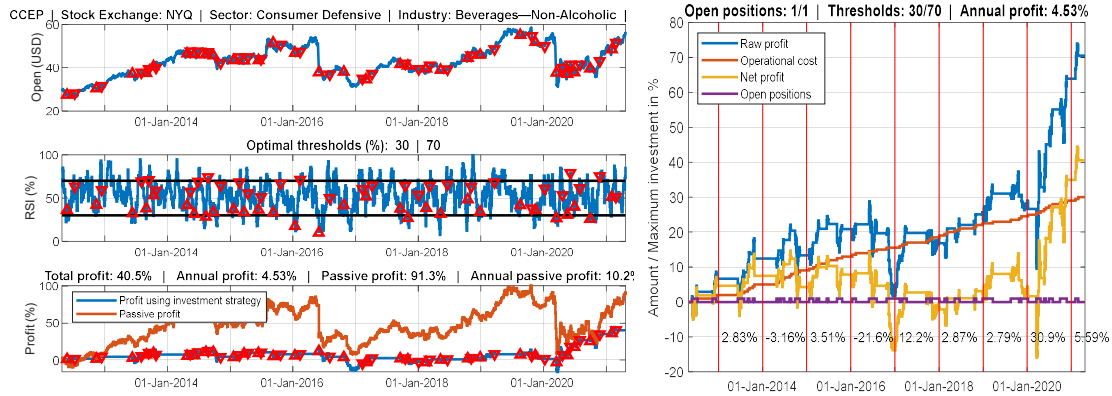


Figura 21: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14 y umbrales 30/70

■ **Ventana 19**

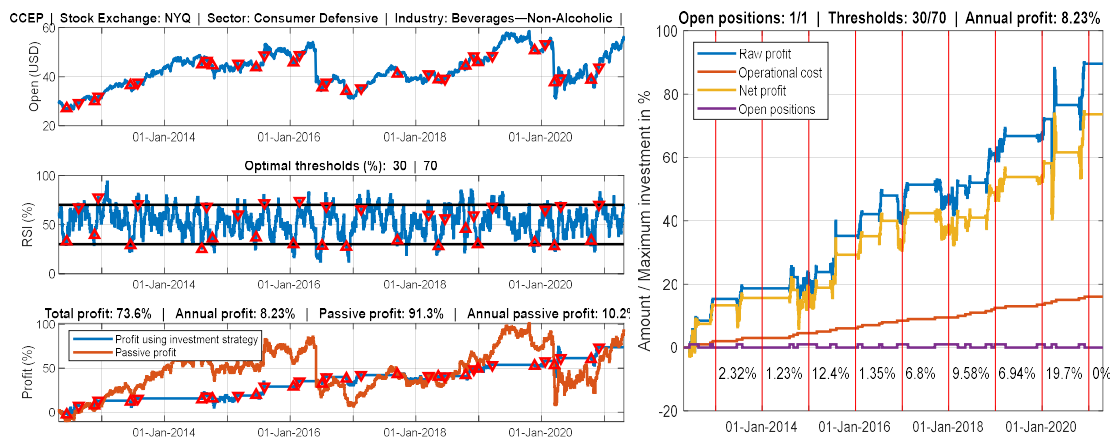


Figura 22: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 19 y umbrales 30/70

Estas tres figuras muestran la evolución del precio de la acción, del RSI y de sus rentabilidades con una ventana del RSI diferente cada una, de 9, 14 y 19. Se aprecia que cuanto mayor es la ventana menos operaciones se hacen y mayor rentabilidad se obtiene.

En la figura 20, con ventana 9, se ve que se hacen muchas operaciones y que las comisiones son mayores que la rentabilidad bruta que se obtiene de alrededor de 50%, por lo que la rentabilidad neta acaba siendo negativa de -0.188%. Se pierde mucha rentabilidad debido a

las comisiones de hacer tantas operaciones. Esta estrategia no compensa ya que al final se acaba pagando más dinero al bróker que el beneficio que se obtiene.

En la figura 21, con ventana 14, se observa que hacen menos operaciones que con ventana 9. De esta manera se consigue una rentabilidad bruta mucho mayor de 70.5% y menor que las comisiones por lo que la rentabilidad neta acaba siendo positiva de 40.5%.

Por último, en la figura 22, con ventana 19, se ve que se hacen aún menos operaciones y se consigue más rentabilidad. La rentabilidad bruta es de 89.62% y las comisiones son muy bajas al haber pocas operaciones por lo que se termina con una rentabilidad neta de 73.62%.

En definitiva, comparando estas tres situaciones, se demuestra que a medida que aumenta la ventana, las fluctuaciones del RSI que se aprecian en la gráfica de en medio de la figura de la izquierda de cada situación van disminuyendo. Por eso en el primer caso hay muchos cortes con los umbrales y se dan más señales de compra y venta mientras que a medida que sube la ventana va habiendo menos cortes y por lo tanto se hacen menos operaciones.

En la figura 22, con ventana 19, resalta un año en el que no hay casi operaciones en comparación con el resto de años. Observando la figura 23 (obtenida haciendo zoom de la figura 22), en la gráfica de la izquierda están los resultados de julio 2013 a julio 2014 donde solo se realiza una operación y en la de la derecha de julio 2014 a julio 2015 donde se realizan cinco operaciones.

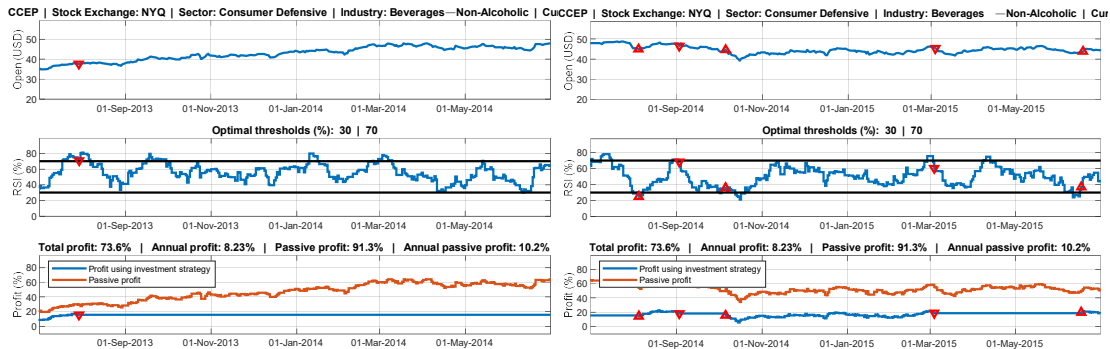


Figura 23: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 19 y umbrales 30/70 (2012-2015)

Como se puede observar, el primer año la tendencia del precio es alcista y no tiene mucha oscilación, el RSI oscila en torno a valores mayores del 50% por lo que no cruza el umbral de sobreventa y no se realizan operaciones después de la venta del 30 de julio de 2013. En cambio, el siguiente año, el precio de la acción tiene un movimiento más lateral en torno a 45\$, fluctúa más y por eso el RSI también, por lo que cruza ambos umbrales y se realizan más operaciones de compra y venta.

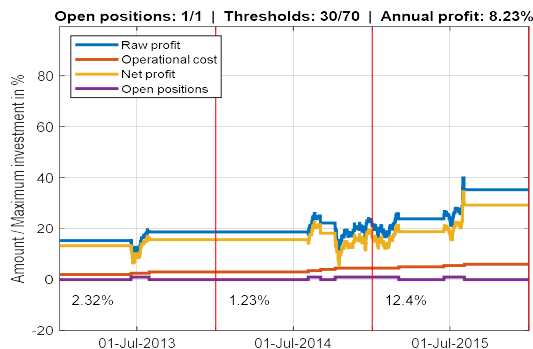


Figura 24: Rentabilidades de CCEP con ventana 14 y umbrales 30/70

Respecto a la rentabilidad, lógicamente cuando no hay operaciones se mantiene constante y cuando hay más operaciones fluctúa más. En este caso, en el año 2015 la rentabilidad claramente aumenta y las comisiones también, debido al aumento de operaciones.

Ahora vamos a analizar los mismos tres casos con las otras dos acciones, para poder ver si pasa lo mismo o no.

– **Abbott Laboratories**

▪ **Ventana 9**

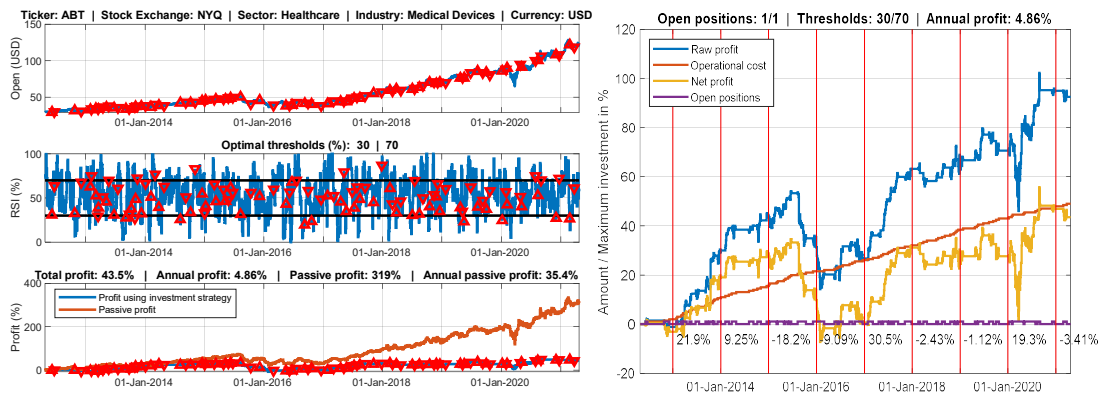


Figura 25: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 9 y umbrales 30/70

▪ **Ventana 14**

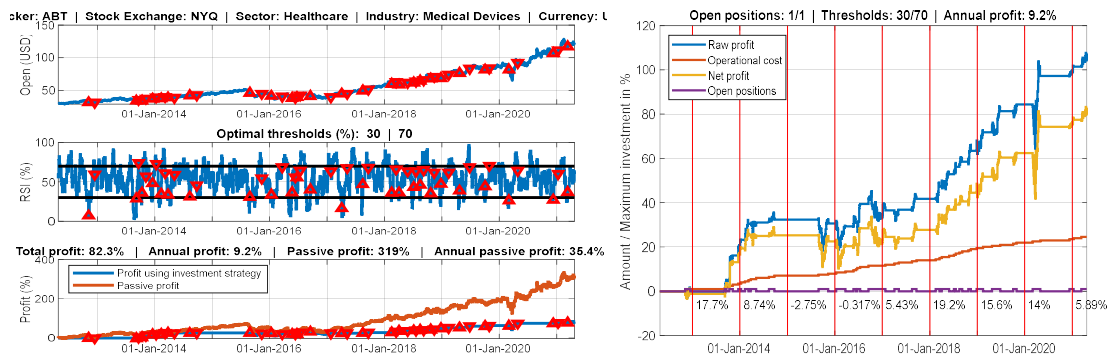


Figura 26: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14 y umbrales 30/70

■ Ventana 19

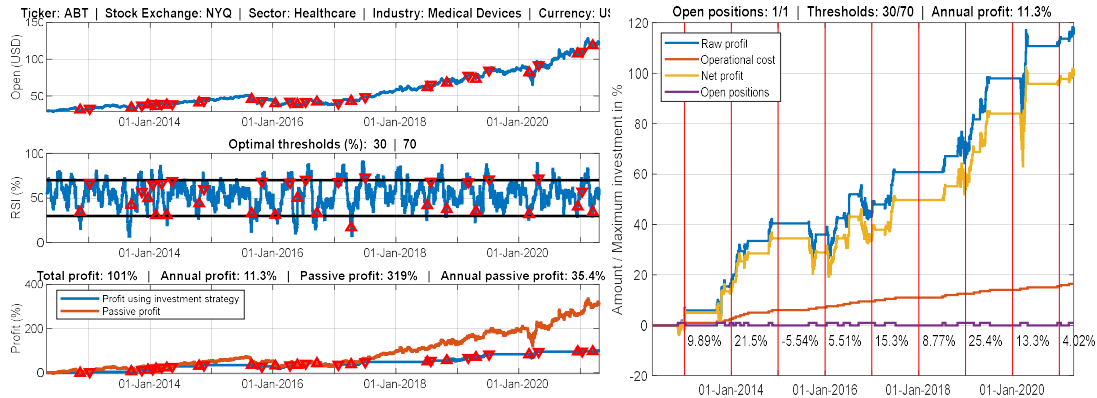


Figura 27: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 19 y umbrales 30/70

Con Abbot Laboratories pasa lo mismo que con Coca-Cola. A medida que sube la ventana hay menos operaciones y va subiendo la rentabilidad. En el caso de ventana 9 se consigue una rentabilidad activa total de 43.5%, con ventana 14 de 82.3% y con ventana 19 de 101%. Al haber menos operaciones se pagan menos comisiones y se pierde menos rentabilidad.

– General Electric

■ Ventana 9

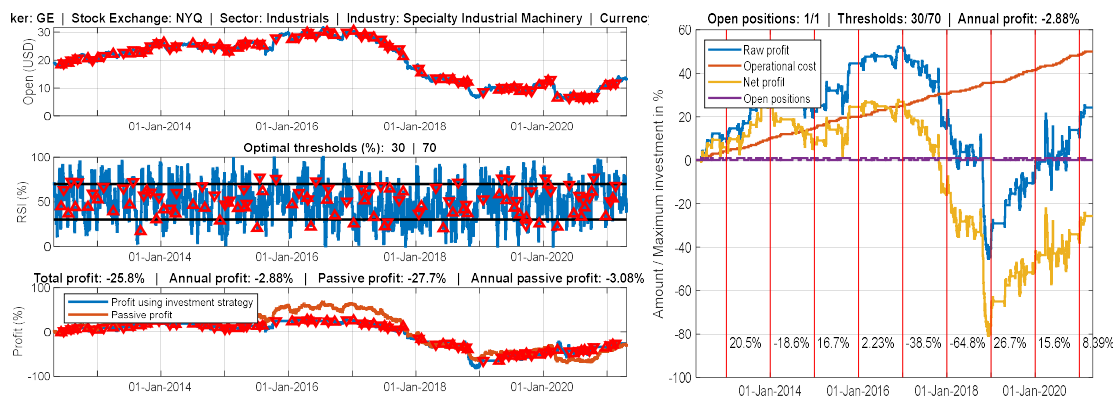


Figura 28: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 9 y umbrales 30/70

Ventana 14

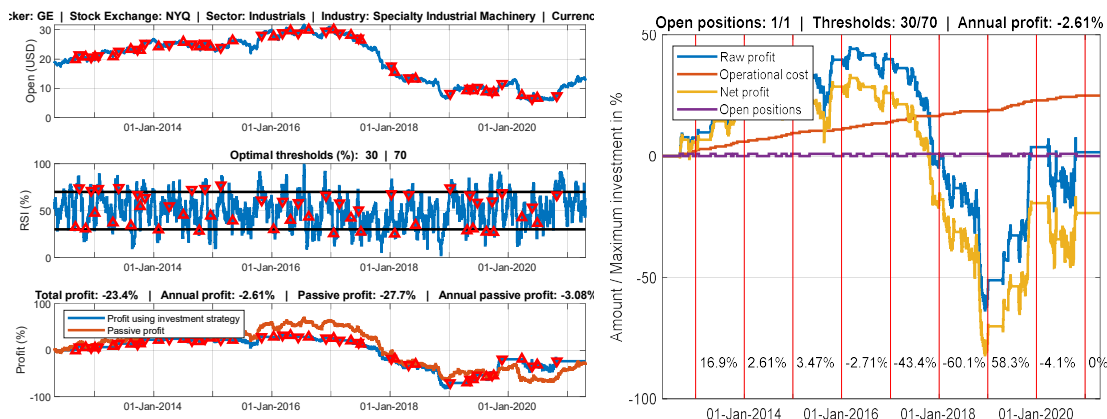


Figura 29: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14 y umbrales 30/70

Ventana 19

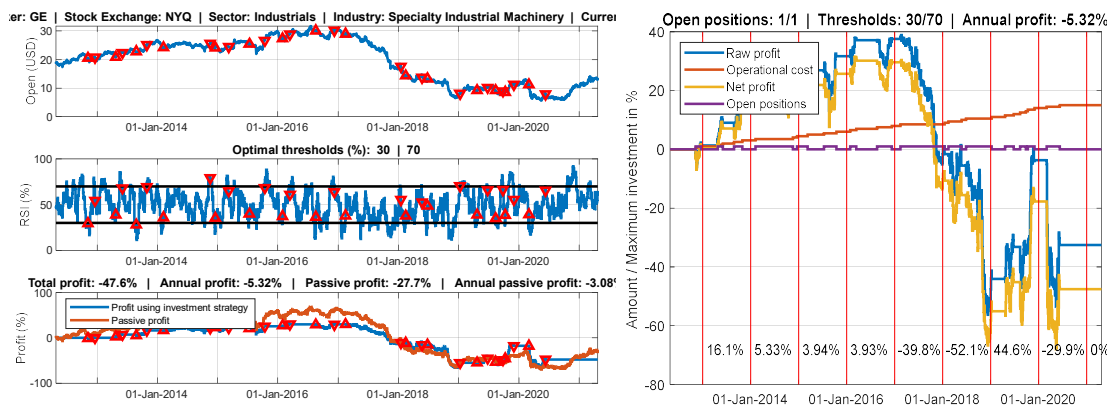


Figura 30: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 19 y umbrales 30/70

Con Abbot Laboratories se ve que a medida que baja la ventana hay menos operaciones, pero no siempre va mejorando la rentabilidad activa. En el caso de ventana 9 se llega a una rentabilidad activa total de -25.8%, con ventana 14 mejora un poco hasta -23.4% y con ventana 19 empeora bastante bajando a -47.6%.

En la tabla 14 se puede apreciar un resumen de la rentabilidad activa anual de los diferentes casos de las tres acciones según va aumentando el tamaño de la ventana donde se ve lo que se ha comentado en este último análisis.

	Rentabilidad activa anual				
	Caso 1	Caso 2 (estándar)	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Acciones \ Ventanas	9	14	19	25	30
Abbott Laboratories	4.86%	9.20%	11.30%	6.42%	7.37%
General Electric	-2.88%	-2.61%	-5.32%	2.58%	4.19%
Coca-Cola	-0.16%	4.53%	8.23%	6.76%	9.25%

Tabla 14: Rentabilidad activa anual según la ventana

En conclusión, normalmente se mejora la rentabilidad activa a medida que aumenta la ventana, pero esto depende de cada acción y hasta un límite de ventana en el que vuelve a bajar o fluctuar la rentabilidad. Se deduce que analizar solo el cambio de la ventana no es un análisis muy concreto, habrá que determinar bien los umbrales y encontrar una combinación entre ventana y umbral para conseguir una rentabilidad activa óptima y que sea mejor que la pasiva, para que compense realizar la estrategia.

3.3.2.2 Según la magnitud de los umbrales elegidos

Se han analizado las distintas acciones para umbrales de 20/60, 30/70 y 40/80 manteniendo la ventana estándar de 14.

– **Abbott Laboratories**

▪ **Umbrales: 20/60**

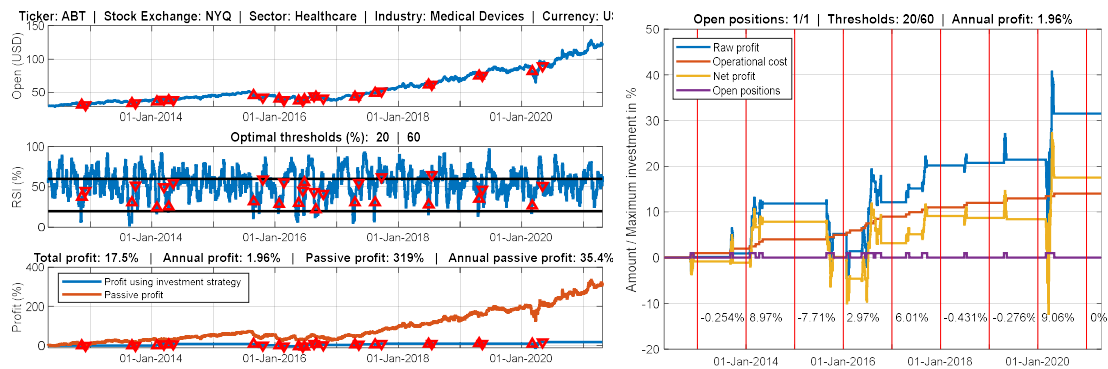


Figura 31: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14 y umbrales 20/60

▪ **Umbrales: 30/70**

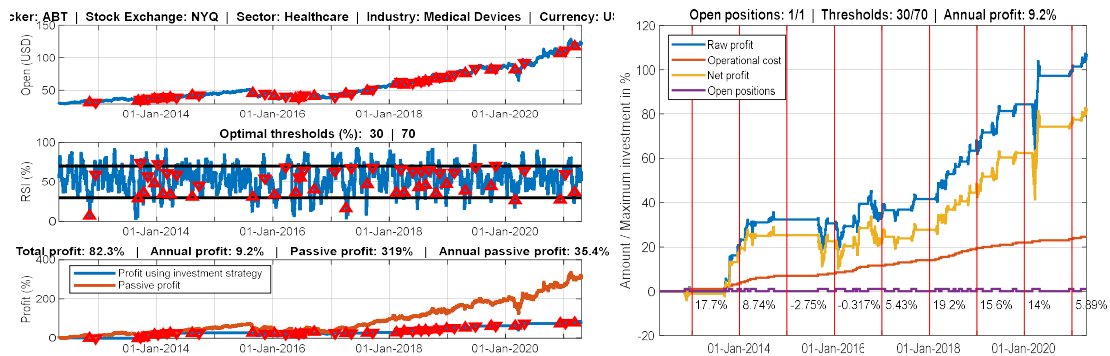


Figura 32: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14 y umbrales 30/70

■ Umbrales: 40/80

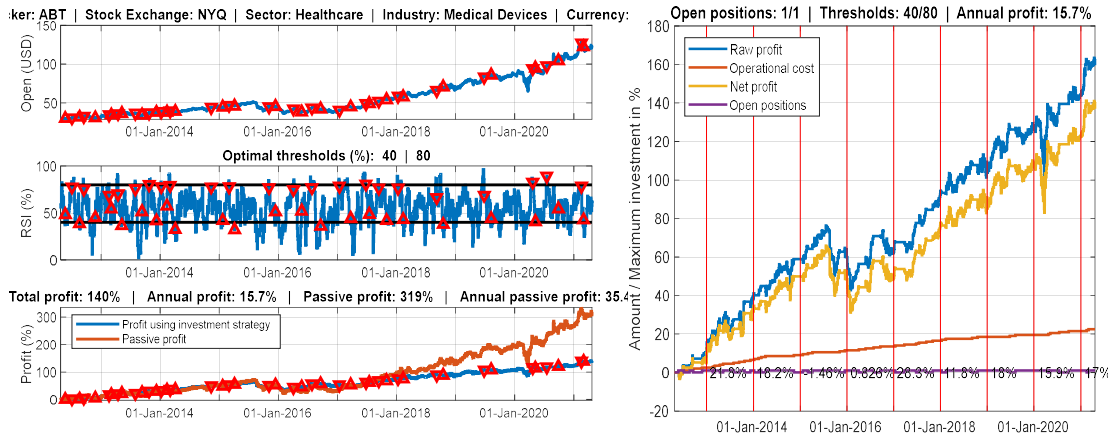


Figura 33: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14 y umbrales 40/80

Estas tres figuras muestran la evolución del precio de la acción, del RSI y de sus rentabilidades con unos umbrales de compra y venta del RSI diferentes cada una. Con estas gráficas se ve claramente cómo es necesario determinar los umbrales según los resultados del RSI, es decir, según en torno al valor sobre el que oscile.

En la figura 31, con umbrales 20/60, hay pocas operaciones porque el umbral de compra es muy bajo y el RSI lo cruza poco porque sus valores oscilan en torno un valor mayor, por lo que se dan pocas señales de compra, y por tanto también de venta. En este caso no se consigue mucha rentabilidad.

Se ha realizado zoom sobre un tramo de estas gráficas donde no se realiza ninguna operación de julio de 2014 a julio de 2015. Esto se debe a que después de la última señal de venta que podemos ver en 2014, no corta el umbral inferior en ningún momento hasta agosto de 2015. La razón por la que el RSI no corta el umbral inferior es porque está oscilando

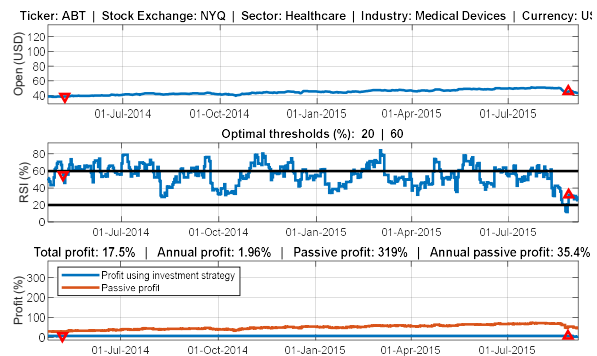


Figura 34: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14 y umbrales 20/60 (2013-2016)

entorno al 60%, por lo que este umbral es muy bajo. Por ello, en este caso sería necesario unos umbrales más altos como se puede apreciar en los otros dos casos.

En la figura 32, con umbrales 30/70, se ve claramente que los umbrales están mucho más centrados, y por ello el RSI cruza más los umbrales y se realizan más operaciones. En este caso se consigue una rentabilidad neta total mucho mayor que en el anterior, entorno al 82.3%.

En la figura 33, con umbrales 40/80, también se realizan muchas operaciones, un número de operaciones parecido al caso anterior, pero distribuidas en otras fechas. En el caso anterior se realizan más operaciones en el año 2018 y 2019 mientras que en este caso se hacen muchas operaciones al principio en los años 2012 y 2013. En el resto de años hacen un número parecido de operaciones. No obstante, en este caso se consigue una rentabilidad neta total mucho mayor que en el caso anterior, de 140%.

En definitiva, comparando estas tres situaciones, se demuestra que es importante la decisión del valor de los umbrales. Dependiendo de cada acción, según los valores que se obtengan del RSI y cómo fluctúe, convendrán unos umbrales más altos o bajos. En este caso se ve claramente que lo mejor son umbrales mayores que los estándares, en torno a 40/80.

– **General Electric**

▪ **Umbrales: 20/60**

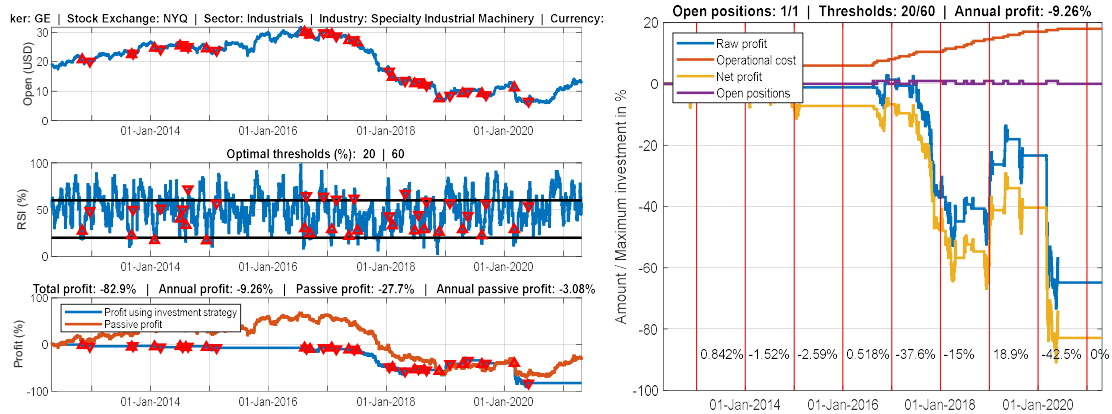


Figura 35: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14 y umbrales 20/60

▪ **Umbrales: 30/70**

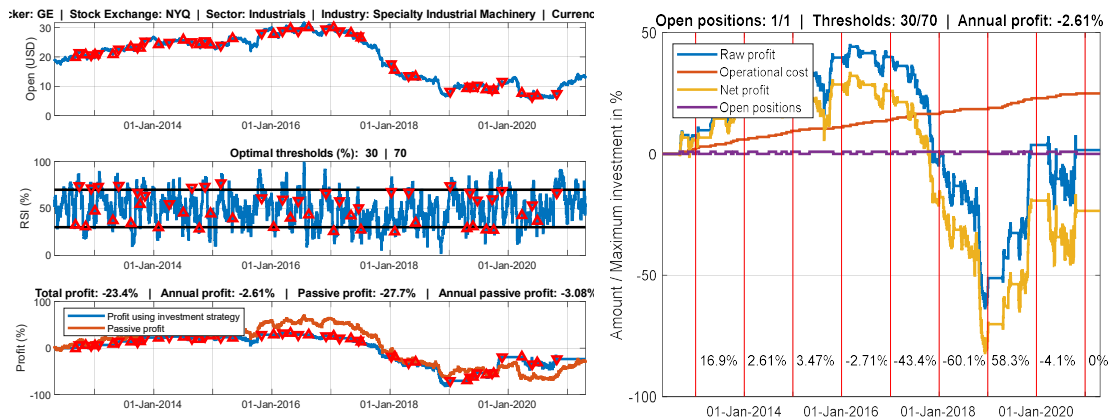


Figura 36: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14 y umbrales 30/70

■ **Umbrales: 40/80**

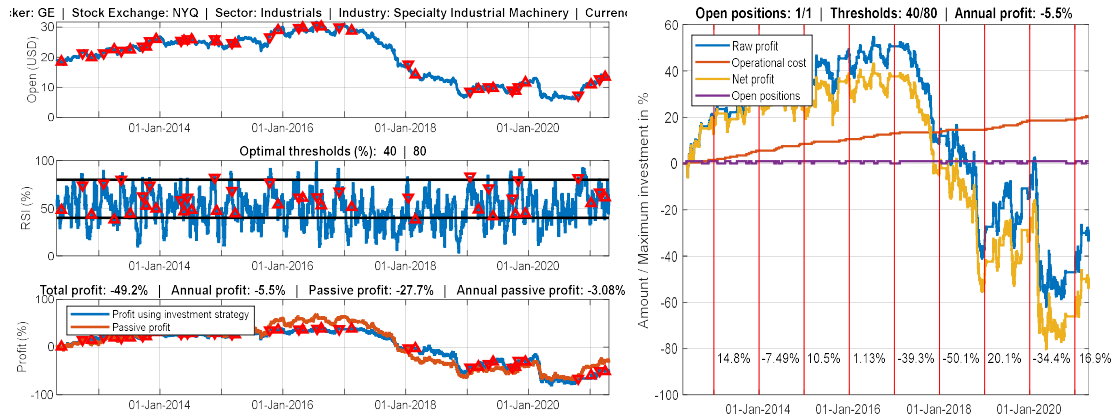


Figura 37: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14 y umbrales 40/80

General Electric en los primeros años hasta 2017 tiene tendencia alcista y los siguientes bajista con algún tramo alcista. Al ser cambiante la mejor combinación es 30/70 porque es un intermedio. En la figura 35, con umbrales 20/60, se ve claramente que son umbrales buenos para los años 2017 y 2018 cuando es claramente bajista, en cambio para el resto de los años con tendencia lateral o alcista estos umbrales se quedan cortos. En la figura 36, con umbrales 30/70, se ve que son unos umbrales bastante bien equilibrados para este tipo de acción. Por último, en la figura 37, con umbrales de 40/80, se ven que quedan un poco altos y en los años 2017 y 2018 donde hay tendencia bajista no se realiza casi ninguna operación ya que no cortan el umbral superior.

– **Coca-Cola Europacific Partners**

▪ **Umbrales: 20/60**

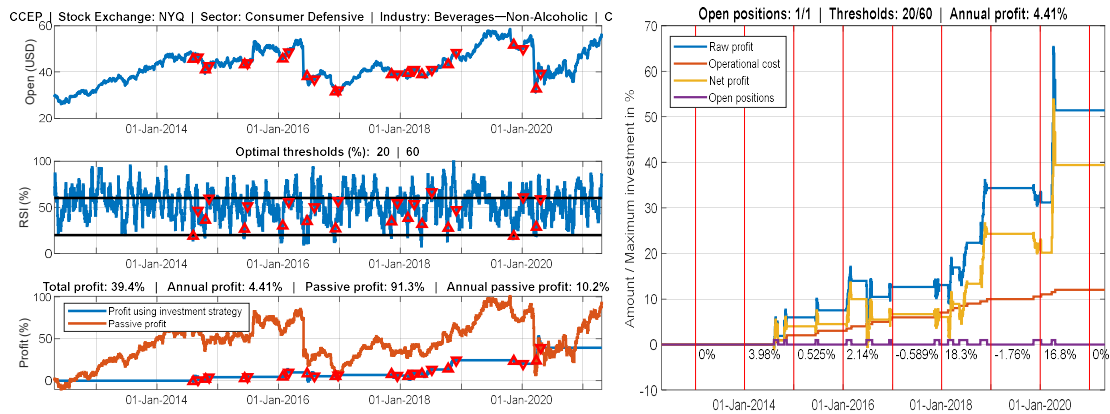


Figura 38: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14 y umbrales 20/60

▪ **Umbrales: 30/70**

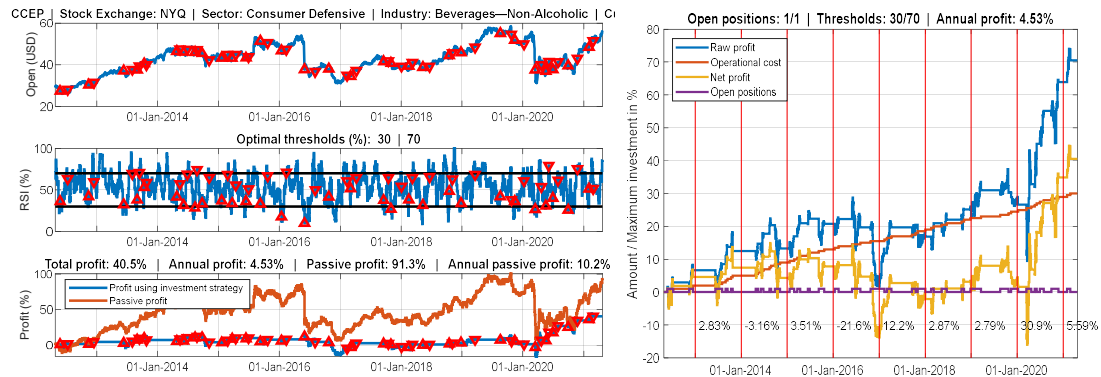


Figura 39: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14 y umbrales 30/70

■ **Umbrales: 40/80**

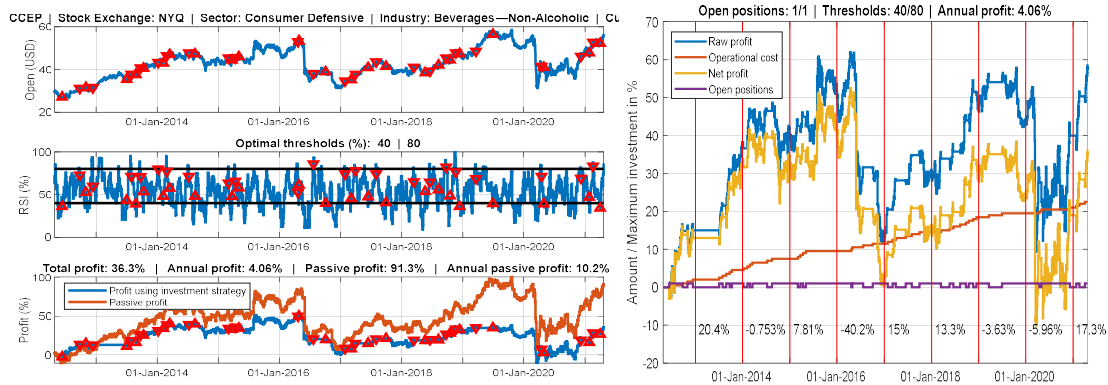


Figura 40: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14 y umbrales 30/70

Coca Cola tiene un movimiento lateral con tendencia alcista. Se ve claramente como en la figura 38, con umbrales 20/60, dichos umbrales quedan muy cortos y hay muchos años que no se realizan operaciones porque no corta os umbrales superiores. Sin duda se necesitan unos umbrales mayores. En la figura 39, con umbrales 30/70, claramente los umbrales están muchos más centrados y es donde mayor rentabilidad activa se obtiene. Por último, en la figura 40, con umbrales 40/80, no se ven tan mal centrados, no obstante, sí que hay años en los que se nota que no son los perfectos. Sin embargo, en este último caso se consigue menos rentabilidad que en el primero que parecían peores umbrales, porque como se había dicho anteriormente, no siempre por realizar más operaciones se consigue más rentabilidad, a veces al hacer muchas operaciones la rentabilidad fluctúa mucho y además se pagan más comisiones por lo que se pierde parte de la rentabilidad.

La conclusión de este apartado es que hay que conseguir una buena combinación de umbrales. No solo se pueden subir y bajar ambos a la vez, se puede subir y bajar el otro, o mantener uno del caso estándar y subir o bajar el otro. Se puede hacer la combinación que se quiera según lo que le convenga a cada acción para conseguir el caso óptimo. Según lo analizado, parece que para tramos de tendencia alcista es mejor subirlos y para tramos de tendencia bajista es mejor bajarlos.

3.3.2.3 Según el sentido elegido de cruce de los umbrales

En este apartado se han analizado las cuatro posibles combinaciones del sentido de cruce de los umbrales: el caso estándar que es el umbral inferior sentido ascendente y umbral superior sentido descendente, el umbral inferior sentido descendente y superior sentido ascendente, ambos umbrales sentido ascendentes y ambos umbrales sentido descendentes. Todos ellos con el caso estándar de umbrales 30/70 y ventana 14.

- **Abbott Laboratories**
 - **Umbral inferior sentido ascendente y umbral superior sentido descendente**

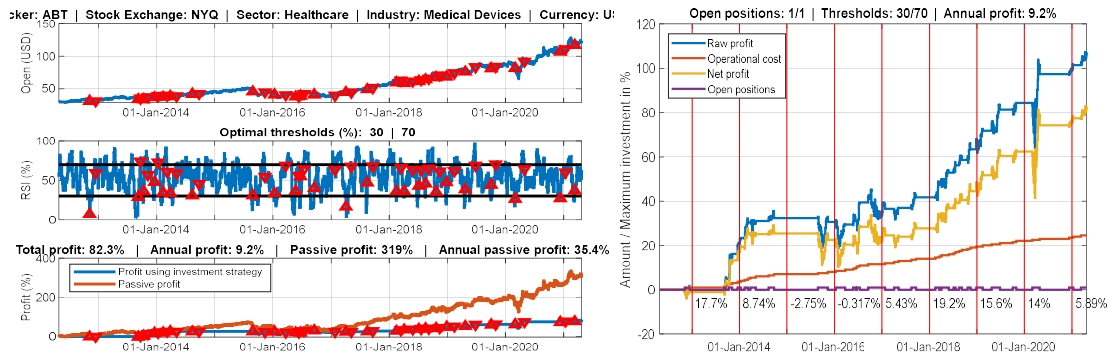


Figura 41: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ascendente y descendente

■ Umbral inferior sentido descendente y umbral superior sentido ascendente

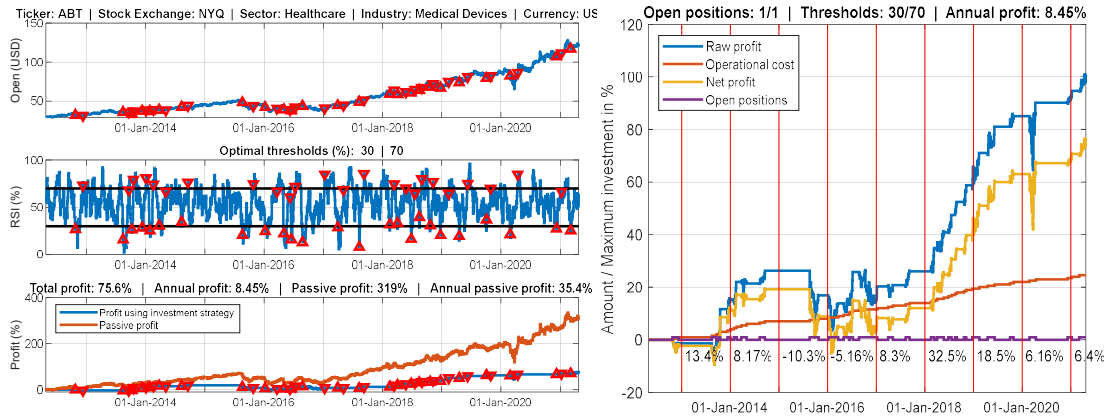


Figura 42: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales descendente y ascendente

■ Ambos umbrales sentido ascendentes

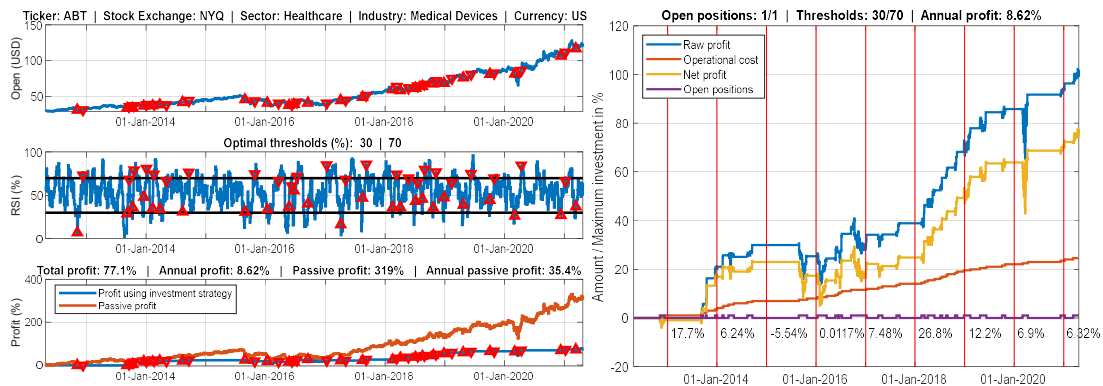


Figura 43: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ambos ascendentes

■ **Ambos umbrales sentido descendentes**

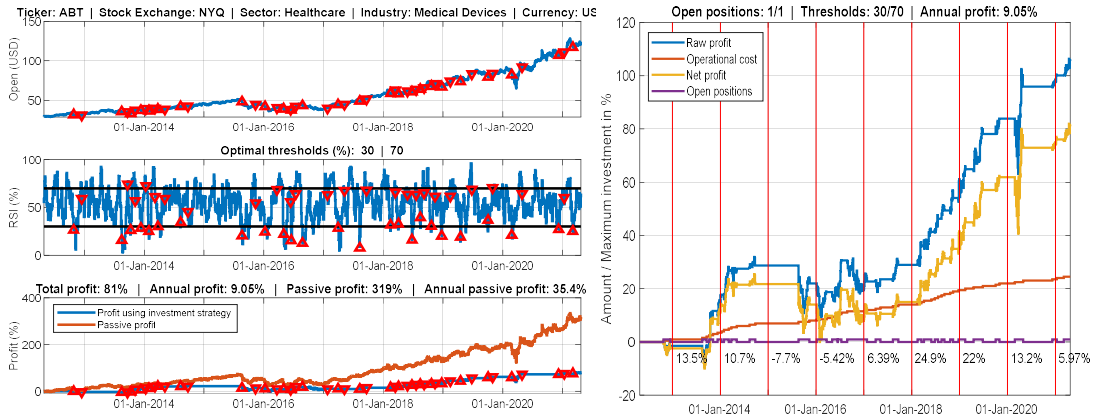


Figura 44: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ambos descendentes

– **General Electric**

■ **Umbral inferior sentido ascendente y umbral superior sentido descendente**

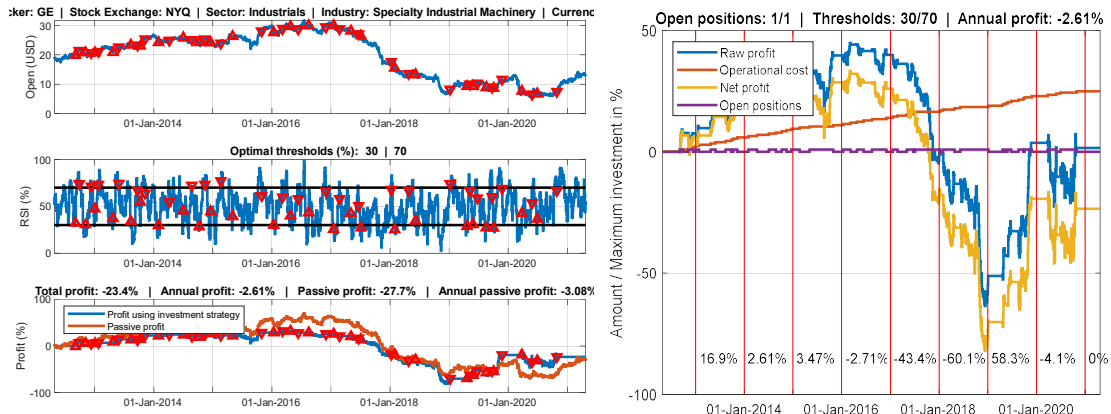


Figura 45: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ascendente y descendente

■ Umbral inferior sentido descendente y umbral superior sentido ascendente

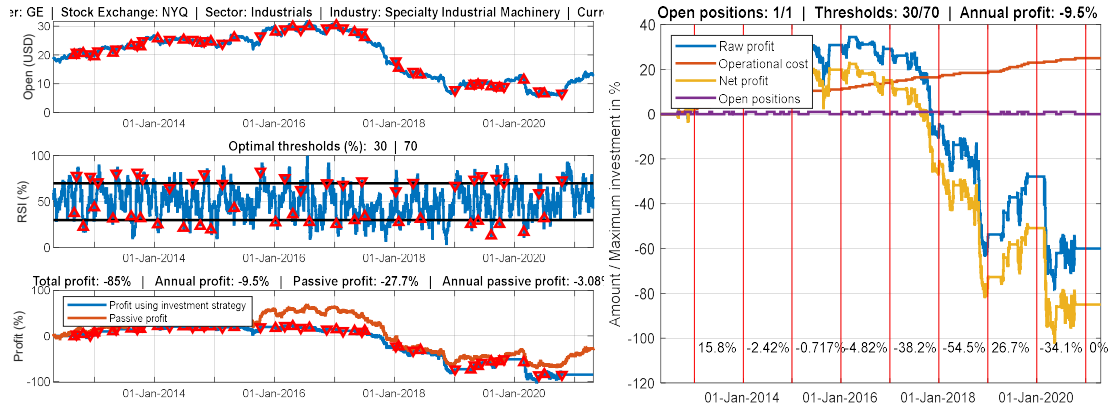


Figura 46: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales descendente y ascendente

■ Ambos umbrales sentido ascendentes

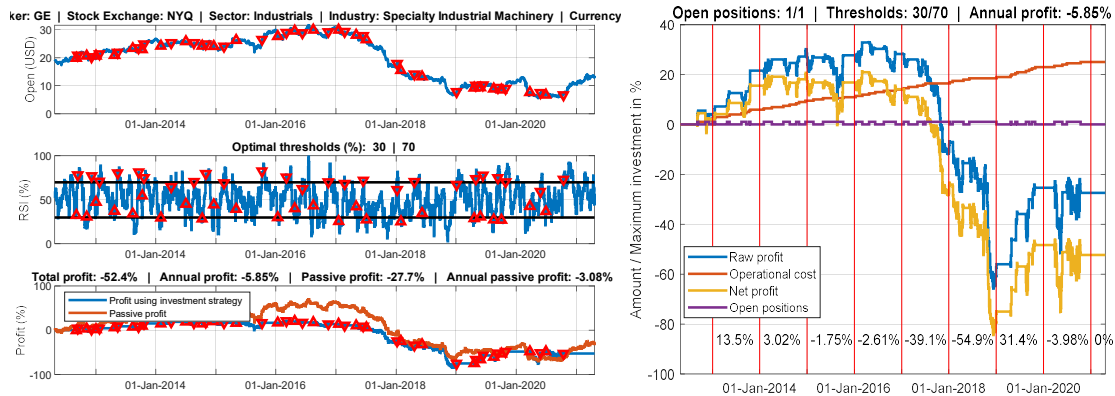


Figura 47: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ambos ascendentes

■ Ambos umbrales sentido descendentes

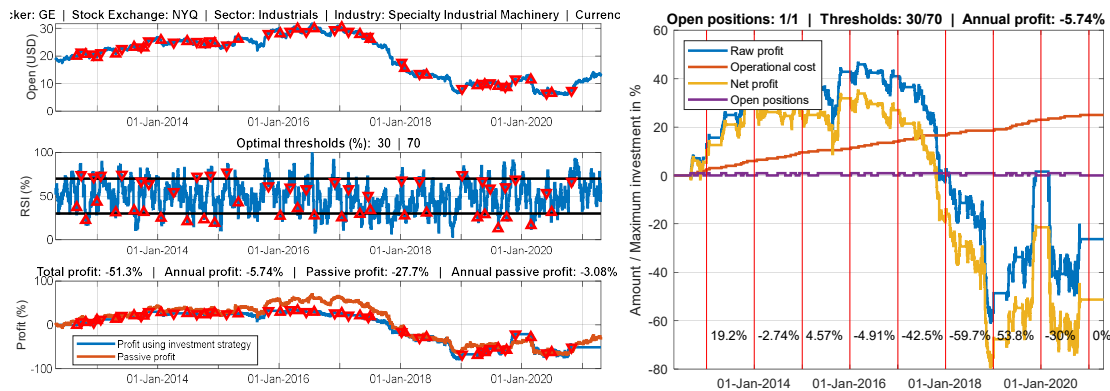


Figura 48: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ambos descendentes

– Coca-Cola Europacific Partners

■ Umbral inferior sentido ascendente y umbral superior sentido descendente

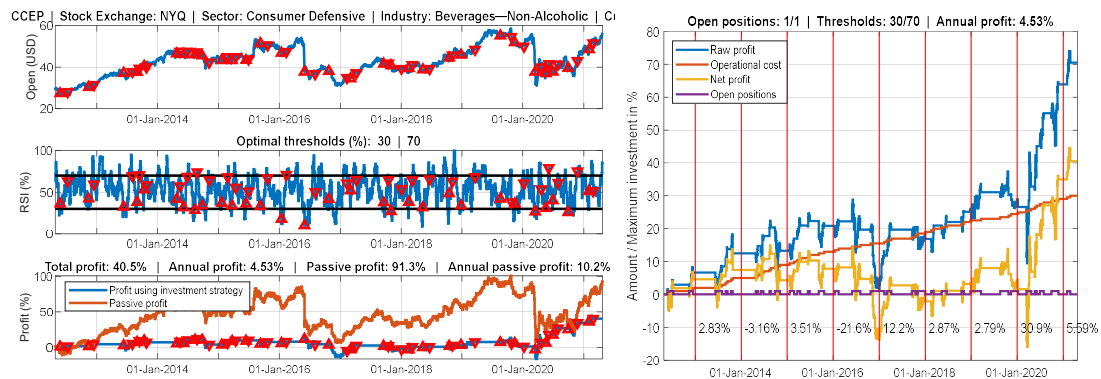


Figura 49: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ascendente y descendente

■ Umbral inferior sentido descendente y umbral superior sentido ascendente

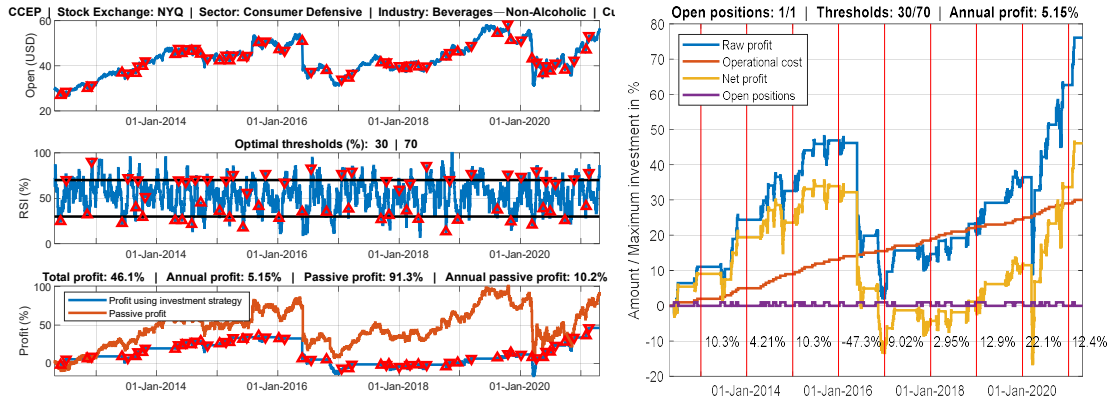


Figura 50: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales descendente y ascendente

■ Ambos umbrales sentido ascendentes

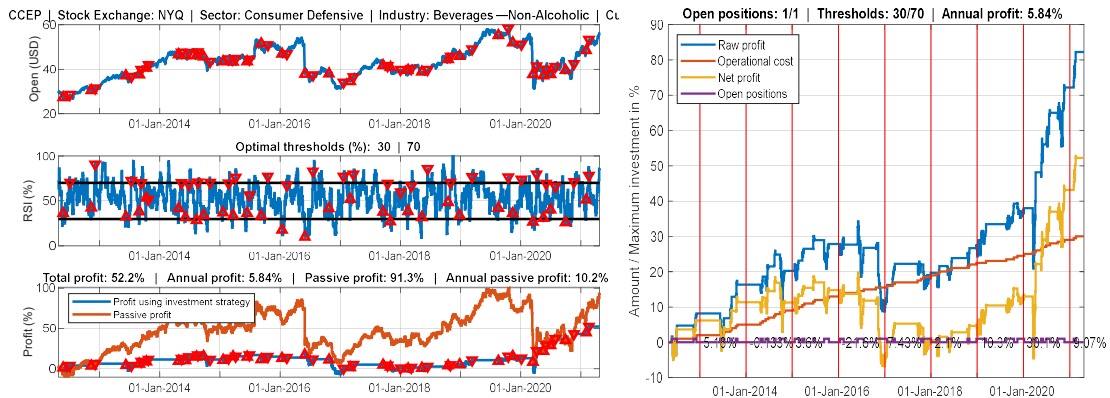


Figura 51: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ambos ascendentes

■ **Ambos umbrales sentido descendentes**

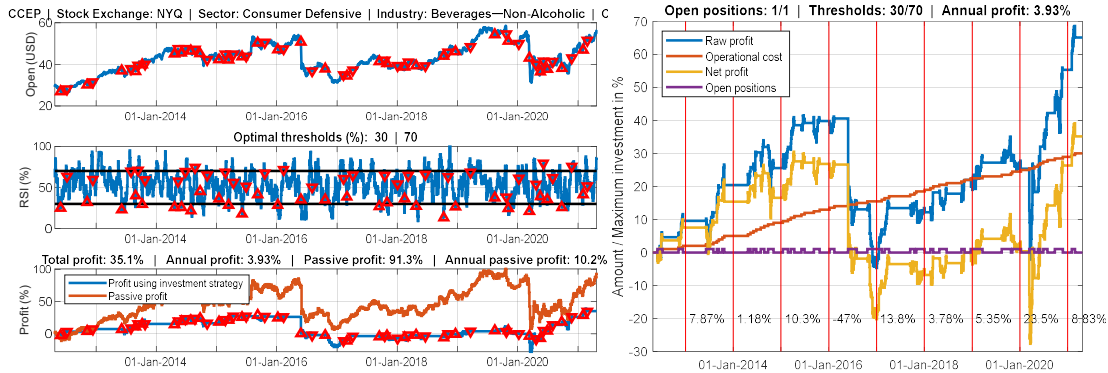


Figura 52: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14, umbrales 30/70 y sentido de cruces de umbrales ambos descendentes

En estas gráficas de las distintas acciones se observa que cambiando los sentidos del cruce no varía demasiado el número de operaciones que se realizan, se mantienen bastante estables. Además, la rentabilidad varía, pero no parece unos cambios tan exagerados como en los otros apartados. No obstante, depende de cada acción.

En la tabla 13, se puede apreciar un resumen de las rentabilidades activas anuales según el sentido de cruce para cada una de las tres acciones. No se ha determinado que haya un sentido óptimo para todas ellas ya que cambia dependiendo de la acción. En este caso se puede ver que para Abbott Laboratories y General Electric el mejor caso es el estándar mientras que para Coca-Cola es sentido ascendente en el cruce de ambos umbrales.

Acciones \ Umbrales	Rentabilidad activa anual							
	Caso 1 (estándar)		Caso 2		Caso 3		Caso 4	
	30 ↗	70 ↘	30 ↘	70 ↗	30 ↗	70 ↗	30 ↘	70 ↘
Abbott Laboratories	9.20%		8.45%		8.62%		9.05%	
General Electric	-2.61%		-9.50%		-5.85%		-5.74%	
Coca-Cola	4.53%		5.15%		5.84%		3.93%	

Tabla 15: Rentabilidad activa anual según la combinación de umbrales

3.3.4 ANÁLISIS EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE OPERACIONES

– Abbott Laboratories

▪ Ventana 14 y umbrales 30/70

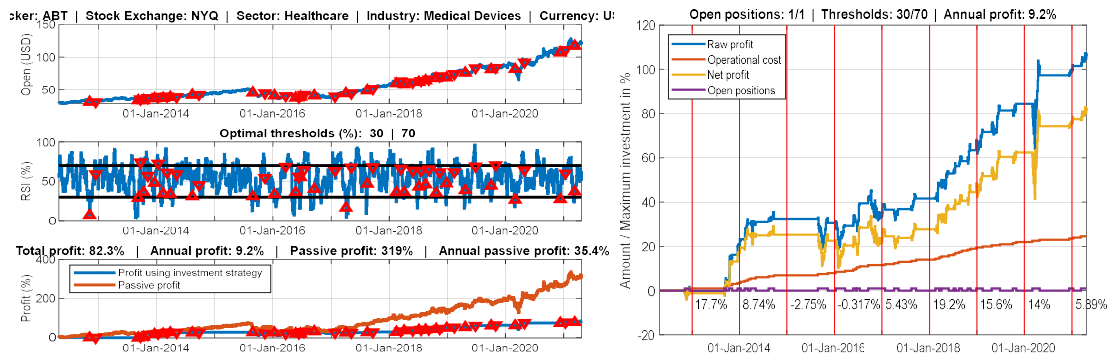


Figura 53: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14, umbrales 30/70

▪ Ventana 14 y umbrales 35/65

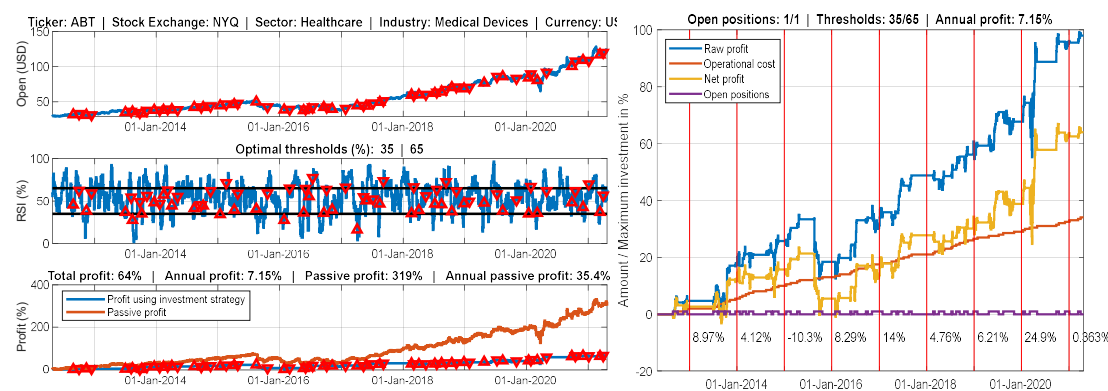


Figura 54: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 14, umbrales 35/65

En este caso, con los parámetros estándar se realizan 49 operaciones y variando sus umbrales a 35/65 se ha conseguido un 40% más de operaciones aproximadamente, es decir, 68 operaciones. Como se puede ver, conseguir más operaciones no significa tener más rentabilidad activa. En este caso al aumentar el número de operaciones disminuye la rentabilidad. Más o menos se consigue una rentabilidad bruta parecida, pero al pagar más comisiones se pierde rentabilidad neta. Por ello, habrá que encontrar un caso variando la

ventana y los umbrales con el que se consiga mayor rentabilidad que la pasiva, ya que, si no, no merece la pena hacer estrategia.

- General Electric

▪ Ventana 14 y umbrales 30/70

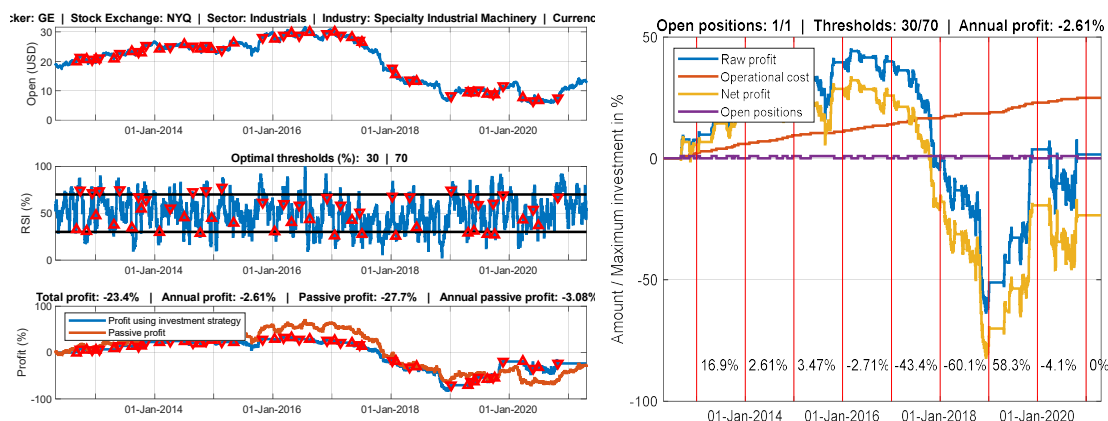


Figura 55: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14, umbrales 30/70

▪ Ventana 12 y umbrales 30/65

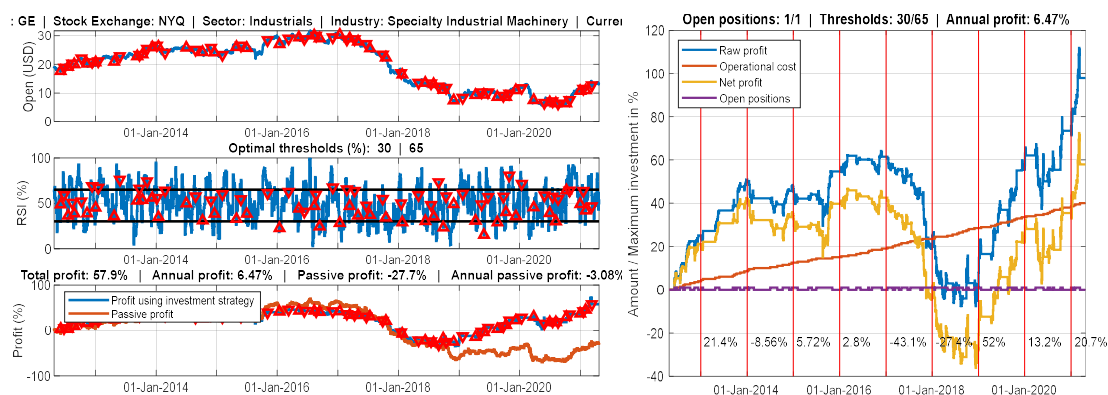


Figura 56: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 12, umbrales 30/65

En este caso, con los parámetros estándar se realizan 50 operaciones mientras que con una ventana 12 y umbrales 30/65 se hacen 76 operaciones, un 50% más. Ahora sí que se ha conseguido aumentar la rentabilidad, se pasa de tener rentabilidad negativa en el caso estándar a conseguir una rentabilidad anual de 6.47%. Además, se observa que en este caso

sí que se ha conseguido encontrar unos parámetros con los que la estrategia tenga sentido, con la que se consigue superar la rentabilidad pasiva.

- Coca-Cola Europacific Partners

▪ Ventana 14 y umbrales 30/70

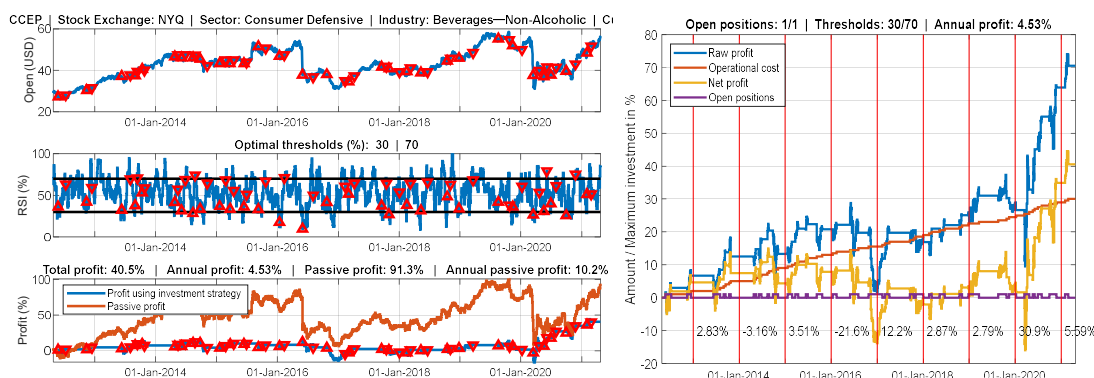


Figura 57: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 14, umbrales 30/70

▪ Ventana 12 y umbrales 35/70

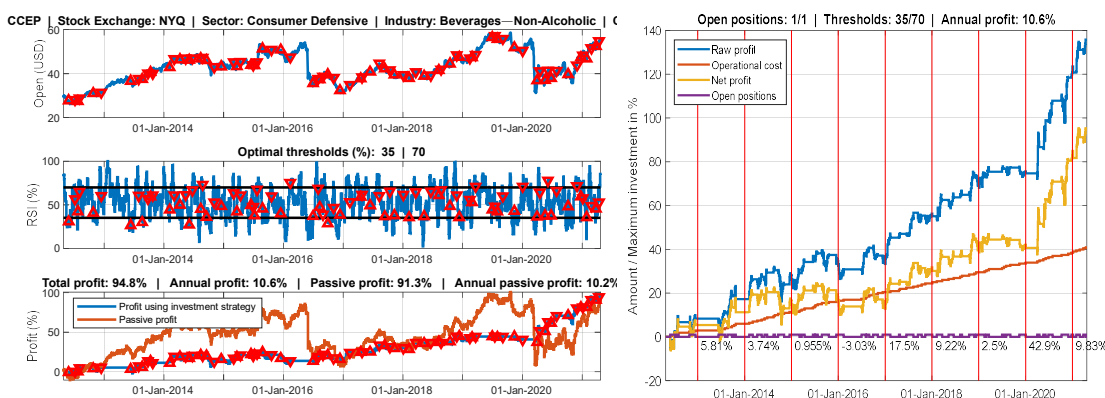


Figura 58: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de CCEP con ventana 12, umbrales 35/70

En este caso se pasa de realizar 60 operaciones con los parámetros estándares a 82 operaciones con una ventana de 12 y umbrales de 35 y 70, casi un 35% más. De esta manera también se ha conseguido aumentar la rentabilidad respecto al caso estándar y además se ha superado la rentabilidad pasiva, por lo que en este caso también tiene sentido seguir la estrategia en vez de mantener la acción sin realizar operaciones de manera pasiva.

Las conclusiones que se obtienen de este apartado son que no siempre aumentar el número de operaciones significa aumentar la rentabilidad. Además, se ha demostrado como cambiando los parámetros de ventana y umbrales se puede conseguir superar la rentabilidad pasiva, así teniendo sentido seguir la estrategia.

3.4 CONCLUSIONES

Todas las conclusiones que se han ido tomando a lo largo de este capítulo no son definitivas, son conclusiones provisionales ya que solo hemos analizado tres acciones. En el siguiente capítulo se llegará a conclusiones más concretas cuando se analicen las 2.600 acciones a la vez.

Se ha observado que sí que tiene influencia la tendencia del precio en la rentabilidad obtenida con la estrategia, cuando es alcista tiene rentabilidades positivas y mayores que cuando es bajista que son negativas. También se ha demostrado la importancia de las fluctuaciones del precio, viendo que cuanto más oscila el precio, más importancia tiene el RSI y más señales de compra y venta se dan.

Respecto al análisis de ventanas, normalmente se mejora la rentabilidad activa a medida que aumenta la ventana, pero esto depende de cada acción y hasta un límite de ventana en el que vuelve a bajar o fluctuar la rentabilidad. Respecto a los umbrales, por un lado, se demuestra que es importante la decisión del valor de los umbrales. Dependiendo de cada acción, según la tendencia de la acción, los valores que se obtengan del RSI y cómo fluctúe, convendrán unos umbrales más altos o bajos. Según lo analizado, parece que para tramos de tendencia alcista es mejor subirlos y para tramos de tendencia bajista es mejor bajarlos. Por otro lado, no se llega a ninguna decisión concreta de como mejora la estrategia según el sentido de la dirección de cruce de los umbrales, depende de cada acción. Por último, aumentar o disminuir el número de operaciones no siempre aumenta o disminuye la rentabilidad activa, también depende de cada caso.

En resumen, hay que buscar la combinación óptima de parámetros para conseguir una rentabilidad óptima que supere la rentabilidad pasiva y así compense seguir la estrategia. Dependiendo de cada acción, de su tendencia y de sus características, habrá que subir o bajar la ventana o los umbrales.

Capítulo 4. OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE INVERSIÓN

4.1 INTRODUCCIÓN

Para hacer el análisis estadístico de optimización de estrategias de inversión basadas en RSI se ha utilizado Matlab. Se ha usado distintas matrices para cada caso con los valores a analizar y se ha programado un código para obtener las gráficas de barras, de dispersión y de cajas que relacionan las distintas variables según los parámetros utilizados y así poder sacar conclusiones.

Las matrices tienen 2.604 valores de las bolsas de Estados Unidos. Los datos para hacer estas matrices se han obtenido de EODData (The worlds #1 website for end of day & historical stock data, 2021). Todos estos datos son de dos mercados, de NYSE o del Nasdaq. Además, representan 12 sectores (salud, tecnología, industrial, servicios financieros, consumo cíclico, inmobiliario, servicios de comunicación, energía, materiales básicos y consumo defensivo. Por último, estos sectores tienen 144 industrias, de las cuales en este estudio se analizan las 10 que mayor número de datos tienen (biotecnología, software-aplicación, bancos regionales, software-infraestructura, diagnóstico e investigación, fabricación de medicamentos-especiales y genéricos, semiconductores, dispositivos médicos, maquinaria industrial especializada y gestión de activos).

4.2 MÉTODO UTILIZADO

Para cada estrategia, primero se han optimizado todos los valores de manera geométrica (sin reinversión). Después, sin volver a optimizar se ha comparado la estrategia de manera geométrica y no geométrica (con reinversión) para poder analizar la estrategia más óptima. Además, también se han comparado las distintas combinaciones del sentido de cruce de umbrales (UD, DU, UU, DD) para ver qué caso es el más óptimo, el que mayor rentabilidad activa da.

Una vez elegido estas dos variables (geométrica/no geométrica y la combinación de umbrales), se ha analizado más profundamente todos los valores según la tendencia y los mercados, sectores e industrias. Para ello se han realizado distintos análisis en Matlab:

- Programa que divide todos los valores en tres grupos según la tendencia, bajista, lateral o alcista, y realiza tres gráficas para analizar y comparar la rentabilidad pasiva y activa anual media, la ventana media y el número de operaciones/año medio.
- Programa que realiza las gráficas de correlación entre las variables continuas. Son gráficas de puntos de dispersión en las que se muestra la recta de correlación y el factor de correlación entre las variables.
- Programa que hace las gráficas entre variables continuas y variables discretas o continuas discretizadas. Estas son gráficas de cajas en las que se puede apreciar la media (en el título de cada gráfica), mediana, máximo, mínimo y la desviación típica.

Este script hace tres figuras que relacionan:

- Las variables continuas con cada una de las discretas definidas por texto (mercado, sector e industria).
- Las variables continuas con respecto a las otras dos discretas que son el centro de umbrales y la diferencia de umbrales.
- Las variables continuas con ellas mismas discretizadas.

En todo el código se han quitado los valores atípicos con el comando de Matlab `rmoutliers(vector,'percentiles',[5 95])`, el cual define un valor atípico como un elemento del vector que está por debajo del percentil 5 o por encima del percentil 95, lo detecta y lo elimina.

Para discretizar las variables continuas se ha ordenado el vector continuo de menor a mayor y se ha dividido en cinco grupos usando para ello los percentiles 20, 40, 60, 80 y 100. La figura 59 es un ejemplo de discretización de variable para hacer el gráfico de la rentabilidad activa con la rentabilidad pasiva discretizada. El método para hacerlo es:

- Dividir la rentabilidad pasiva en cinco grupos utilizando sus percentiles:
 - Grupo 1: del percentil 0 al 20 (valor mínimo a -7,16).

- Grupo 2: del percentil 20 al 40 (-7,16 a 1,65).
 - Grupo 3: del percentil 40 al 60 (1,65 a 11,72).
 - Grupo 4: del percentil 60 al 80 (11,72 a 29,18).
 - Grupo 5: del percentil 80 al 100 (29,18 a 80,68).
- Asociar cada acción a su grupo correspondiente según la rentabilidad pasiva discretizada: si una acción tiene rentabilidad activa 9% y rentabilidad pasiva 25%, como la rentabilidad pasiva de 25% pertenece por ejemplo al grupo 4, entonces su rentabilidad activa asociada de 9% también pertenece al grupo 4.

Por último, en el eje x se han puesto los últimos valores de cada percentil: -7,16, 1,65, 11,72, 29,18 y 80,68.

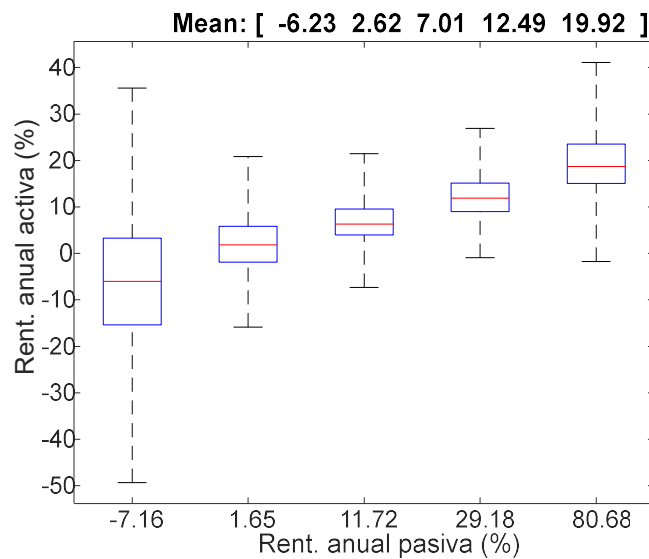


Figura 59: Relación entre la rentabilidad anual activa y la rentabilidad anual pasiva discretizada

4.4 DISTINTOS CASOS DE OPTIMIZACIÓN

Los tres casos que hay que analizar son los siguientes:

4.4.1 OPTIMIZACIÓN GLOBAL PARA TODOS LOS VALORES

Para este caso se ha usado una matriz con valores de 9 años y se ha buscado la rentabilidad óptima en cada uno de esos valores de forma común, es decir, utilizando los mismos parámetros para todos los valores para conseguir la máxima rentabilidad anual media activa.

4.4.1.1 Análisis inicial para la decisión de parámetros

Se ha realizado un análisis utilizando seis ventanas distintas y los diferentes umbrales de compra y venta para elegir una combinación de parámetros que de una rentabilidad anual óptima teniendo en cuenta el número de operaciones medio por año para que no sea una imitación del método pasivo (buy and hold). Para dicho análisis se ha usado una matriz en cuya estrategia de inversión geométrica, en la que se retiran los beneficios o se reponen las pérdidas y el sentido de cruce de los umbrales es el estándar, ascendente en el umbral inferior y descendente en el umbral superior. Todavía no se han quitado los outliers para poder analizar todas las acciones juntas y elegir los parámetros.

Se han realizado dos figuras (figura 60 y 62) en las que se representa el número de operaciones medio por año (compra o venta) y la rentabilidad activa anual media. Las ventanas utilizadas han sido 9, 14, 19, 24, 29 y 34. En el Anexo I se pueden ver los valores concretos de ambas gráficas en matrices según la ventana.

Análisis según:

■ **La rentabilidad activa anual media**

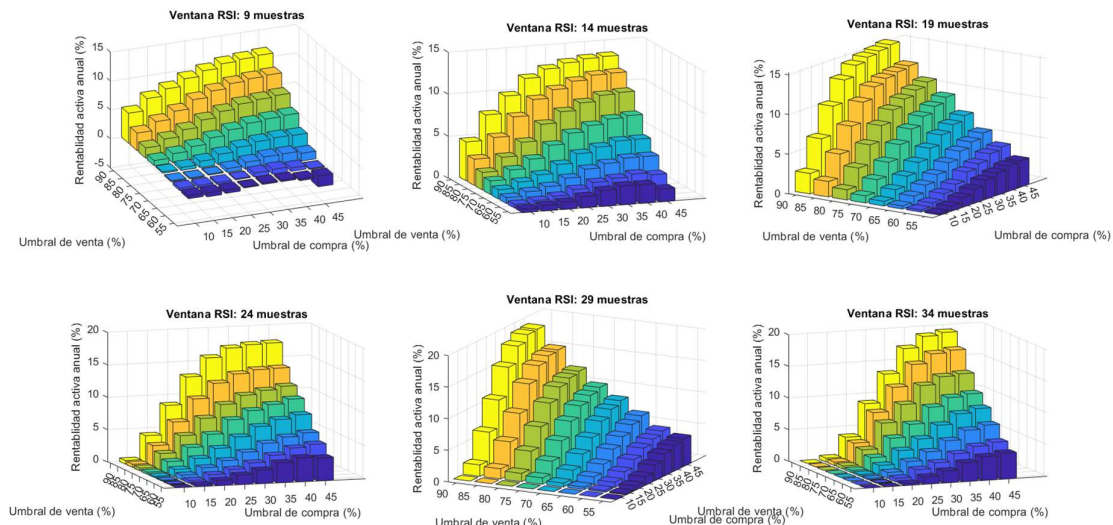


Figura 60: Rentabilidad activa anual media según la ventana y los umbrales

En la figura 60 se observa como la rentabilidad activa anual media sube cuando el umbral de venta sube y normalmente cuando el umbral de compra también sube. No obstante, la subida del umbral de compra no siempre se cumple.

En la figura 61 se observa mejor lo dicho, no siempre cuando sube el umbral de compra sube la rentabilidad. Esto se da en algunos casos para los umbrales de venta bajos (azul y verdes). De todas maneras, es una minoría, en la mayoría de los casos la rentabilidad sube cuando sube el umbral de compra.

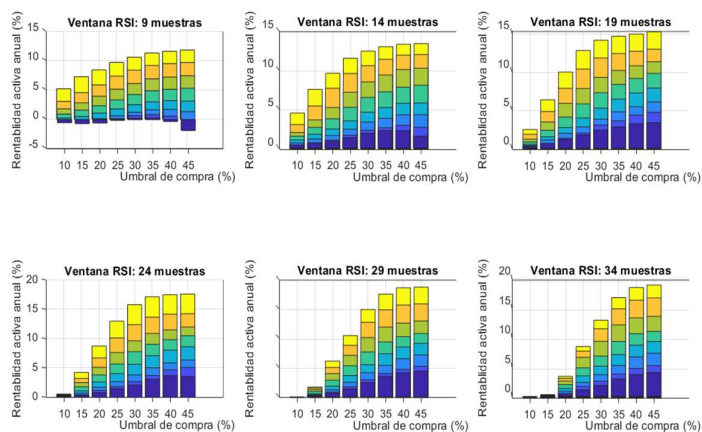


Figura 61: Rentabilidad activa anual media según la ventana y los umbrales

La máxima rentabilidad activa media anual que se puede

obtener es de 19,26% para una ventana de 34 y umbrales de 45% y 90%. No obstante, se han analizado el número medio de operaciones para que no sea una réplica del buy and hold.

■ El número de operaciones medio

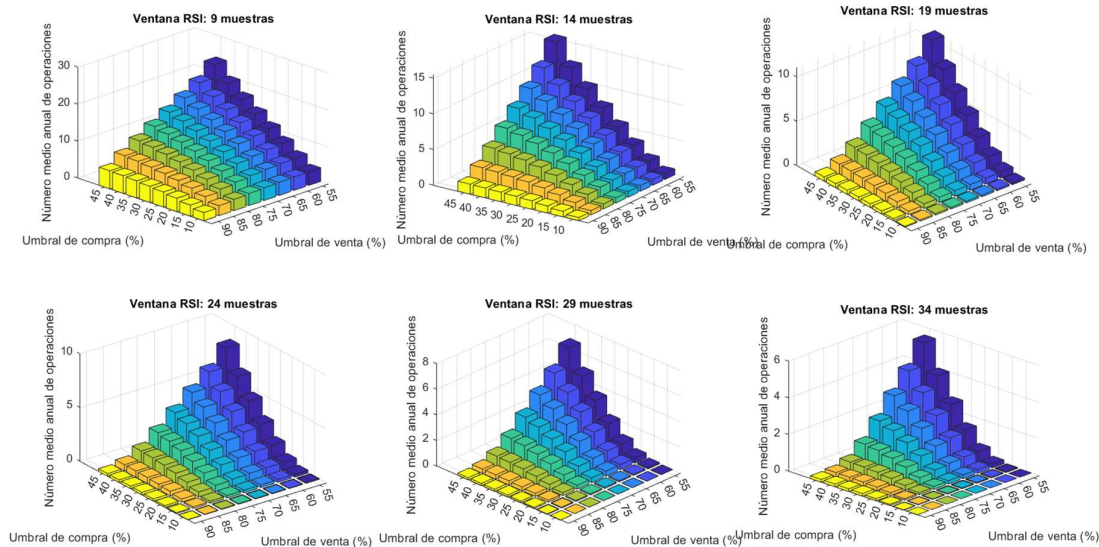


Figura 62: Número medio anual de operaciones según la ventana y los umbrales

En la figura 62, en todas las gráficas se ve claramente como el número de operaciones aumenta a medida que el umbral de compra sube y el umbral de venta baja. En la figura 63 se puede apreciar desde otra perspectiva:

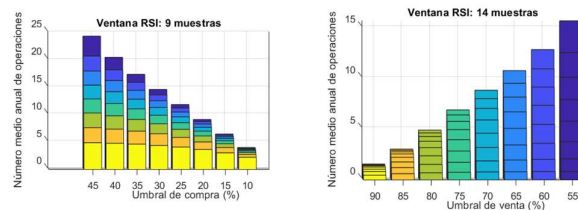


Figura 63: Número medio anual de operaciones según la ventana y los umbrales

Por lo tanto, de estas gráficas se concluye que a medida que va disminuyendo la diferencia de umbrales va aumentando el número de operaciones.

También se han analizado la figura 60 y 62 a la vez (rentabilidad activa anual media y número de operaciones por año) para obtener los parámetros adecuados para la optimización. Se aprecia que la rentabilidad máxima está asociada con un número medio de operaciones muy bajo. La máxima rentabilidad media que se podría obtener con este análisis, como ya se ha dicho, es 19,26%, pero solo hace una

media de 0,15 operaciones de media al año, por lo que está casi replicando el método pasivo. Por eso solo se ha considerado válida la rentabilidad media si el número de operaciones medio anual es mayor que 2, por lo que la rentabilidad media máxima con esta restricción es de 12,09% con 2,87 operaciones de media al año. Esta rentabilidad se obtiene con una ventana de 14 días y umbrales de 45% y 85%. Sin embargo, esta rentabilidad activa media anual sigue sin superar la rentabilidad pasiva media anual de 19% (obtenida en Matlab). Por lo tanto, por ahora se sigue obteniendo una mayor rentabilidad media con el método pasivo de buy and hold. También se puede apreciar que los parámetros de umbrales obtenidos no son los recomendados por la literatura (30% y 70%), sino que son más altos (45% y 85) y característicos de acciones con tendencia alcista, mientras que la ventana sí lo es.

Un ejemplo en el que la rentabilidad activa anual es alta pero el número de operaciones medio al año es menor que dos y por tanto está representando el método pasivo de buy and hold es la acción de Abbott Laboratories para una ventana 34 y umbrales 45% y 90%, se ve en la figura 64.

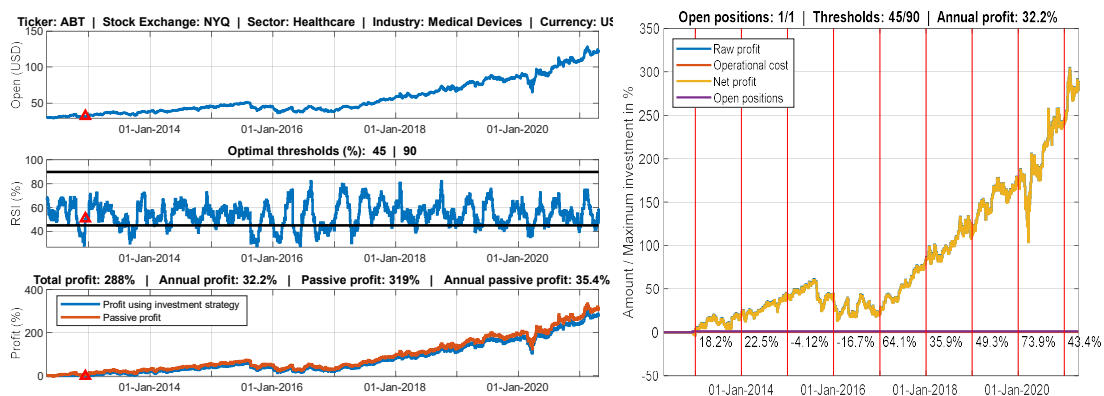


Figura 64: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de ABT con ventana 34, umbrales 45/90

Por último, también se observa en la combinación de las figuras 60 y 62 que a medida que aumenta el número de operaciones, aumenta la rentabilidad. Pero esto solo se cumple hasta un cierto punto, ya que cuando el número de operaciones es excesivo hay que pagar muchas comisiones al bróker y se pierde rentabilidad. Un ejemplo de esto es la acción de General Electric con una ventana de 14 y umbrales de 45% y 55% que se muestra en la figura 65, en

el que el número medio de operaciones al año es 15,54 y la rentabilidad media es muy baja de 1,52%.

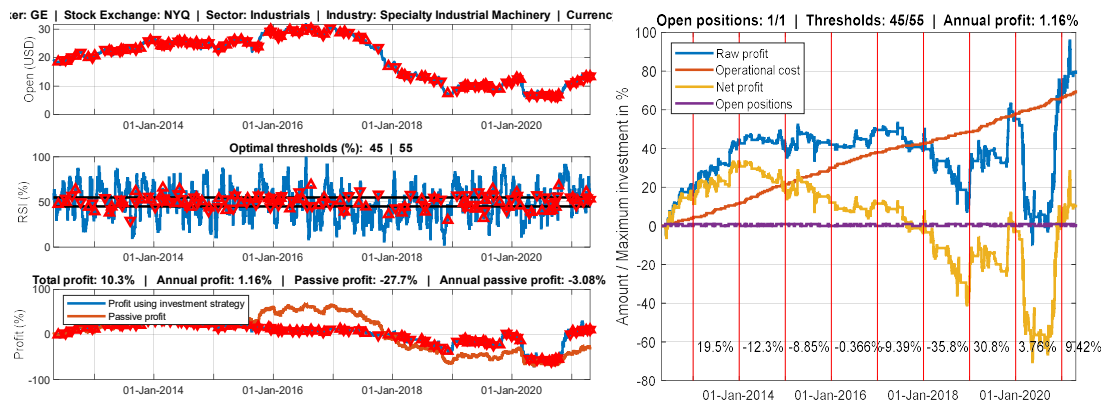


Figura 65: Precio de apertura, RSI y rentabilidades de GE con ventana 14, umbrales 45/55

En definitiva, lo que hay que buscar es un término intermedio de operaciones medias al año que de buena rentabilidad y que no pierda tanto dinero en comisiones para el bróker. Por eso, como ya se ha explicado, se ha elegido una ventana de 14 y umbrales de 45% y 85% para hacer el análisis del apartado siguiente.

4.4.1.2 Análisis de la rentabilidad en función de si reinviertes o no los beneficios

Se ha hecho un análisis para ver si da mayor rentabilidad la estrategia retirando beneficios y reponiendo pérdidas o reinvertiendo los beneficios y manteniendo las pérdidas en cada operación.

En la tabla 16 se resumen el porcentaje de máximos de rentabilidad activa comparando una estrategia frente a la otra y la media de la rentabilidad activa anual de cada estrategia para todos los valores.

	Estrategia	
	Sin reinversión	Con reinversión
% de máximos de la rentabilidad activa	52.70%	47.30%
Media de la rentabilidad activa	11.60%	14.28%

Tabla 16: Porcentaje de máximos y medias de la rentabilidad activa según la estrategia (sin reinversión o con reinversión)

El método de porcentaje de máximos de rentabilidad activa trata de comparar la rentabilidad activa de cada valor según la estrategia y ver cuál es mayor y así calcular el porcentaje de veces que es mayor en cada estrategia.

Por lo que se ve en esta tabla, hay más rentabilidades mayores con la estrategia sin reinversión de beneficios y perdidas que con la de reinversión. Sin embargo, la media de la rentabilidad de todos los valores es mayor con la estrategia reinvertiendo los beneficios. Este segundo análisis tiene mayor peso, por lo que se demuestra que es mejor la estrategia con reinversión. Esto se confirma con la figura 66 donde está representada una gráfica de puntos de dispersión con su recta de correlación (roja) y una recta $y=x$ (verde).

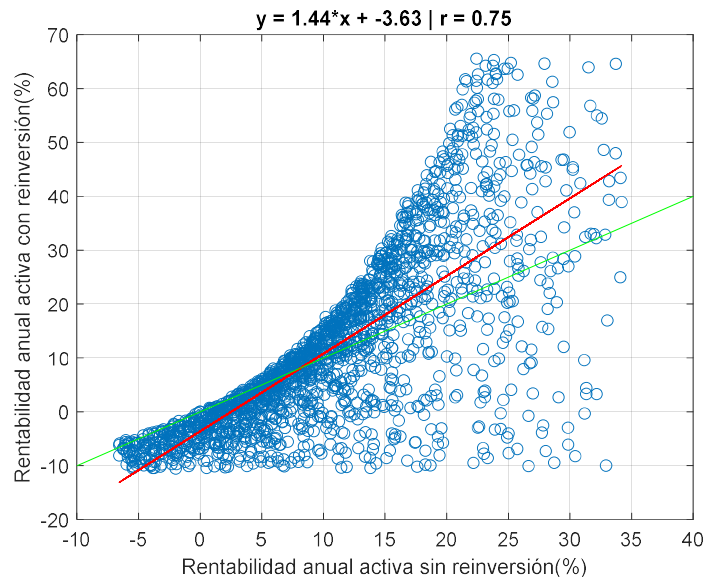


Figura 66: Relación entre la rentabilidad anual activa según la estrategia con reinversión y sin reinversión

El coeficiente de correlación es alto, de 0,75, por lo que es una conclusión considerable. En la gráfica se puede ver que la recta de correlación (roja) y la mayoría de los puntos están más por encima de la recta verde ($x=y$). No obstante, están bastante igualadas las dos estrategias, la diferencia de rentabilidades medias no es muy grande.

4.4.1.3 Análisis de la rentabilidad en función del sentido de cruce de los umbrales

Se ha hecho un análisis para ver si da mayor rentabilidad la estrategia con el sentido de cruces del umbral inferior y superior ascendente y descendente, descendente y ascendente, ambos descendentes o ambos ascendentes.

En la tabla 17 se resumen el porcentaje de máximos de rentabilidad activa comparando las rentabilidades de cada estrategia y la media de la rentabilidad activa anual de cada estrategia para todos los valores.

	Combinación de cruces			
	↗ ↘	↘ ↗	↘ ↘	↗ ↗
% de máximos de la rentabilidad activa	16.04%	35.60%	28.76%	19.60%
Media de la rentabilidad activa	13.18%	15.09%	14.76%	13.50%

Tabla 17: Porcentaje de máximos y medias de la rentabilidad activa según la combinación de umbrales

Por lo que se ve en esta tabla, tanto en el análisis de porcentaje de máximos de rentabilidad activa y el de media de la rentabilidad activa, la mejor estrategia no sería la estándar, sino que sería la descendente y ascendente. Sorprendentemente la estándar resulta la peor estrategia en este caso. Esto se confirma con la figura 67 donde está representada una gráfica de puntos de dispersión con su recta de correlación (roja) y una recta $y=x$ (verde) para todas las combinaciones de cruces de dos en dos.

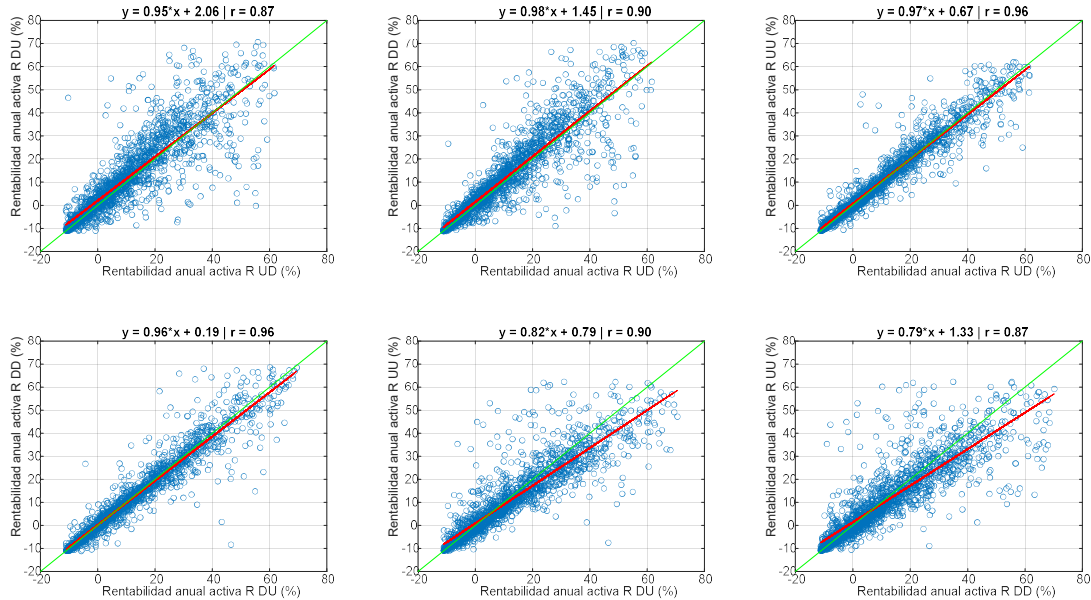


Figura 67: Relación entre la rentabilidad anual activa según la combinación del sentido de cruce de umbrales de la estrategia

En las seis gráficas los coeficientes de correlación son altos, de 0,87 hacia arriba, por lo que son conclusiones también fuertes. En las gráficas se puede apreciar que la mejor estrategia es la de la combinación del sentido de cruces de umbrales descendente y ascendente (DU) ya que la recta de correlación (roja) y la mayoría de los puntos están por debajo de la recta verde ($x=y$). No obstante, no tienen gran diferencia respecto al resto de combinaciones, ya que supera la rentabilidad por poca diferencia respecto al resto.

4.4.1.4 Análisis sobre la optimización en función de la tendencia (bajista, lateral o alcista)

En este apartado (4.4.1.4.) y el siguiente (4.4.1.5.) se ha utilizado una matriz de acciones de 9 años con los mismos parámetros para todas las acciones. Estos parámetros son los obtenidos del apartado 4.4.1.1., ventana 14 y umbrales 45% y 85%, ya que son los que mejor optimizan a todos los valores en su conjunto, es decir, los que mayor rentabilidad activa media de todas las acciones dan. Además, tras los estudios del apartado 4.4.1.2. y 4.4.1.3. se ha va a usar una inversión no geométrica y dando las señales de compra cuando cruza en

sentido descendente el umbral inferior y las de venta cuando cruza en sentido ascendente el umbral superior, ya que con estos se obtienen los resultados más óptimos.

Así se ve si de alguna manera, como por ejemplo filtrando las acciones según su tendencia (bajista, lateral y alcista), se consigue una rentabilidad mayor que la obtenida con el método pasivo.

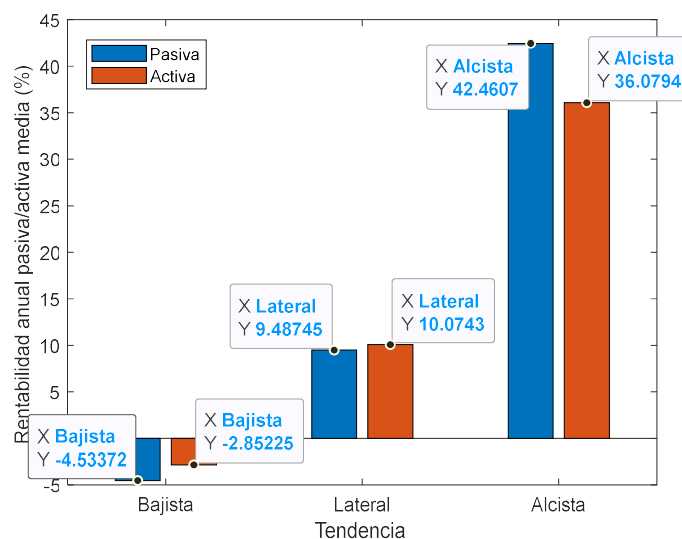


Figura 68: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia

En la figura 68, se observa que en el caso de acciones con tendencia bajista y lateral la rentabilidad activa media es mejor que la pasiva, por lo que se recomienda usar la estrategia de optimización del RSI, mientras que en las acciones de tendencia alcista, la estrategia de buy & hold de media es mejor.

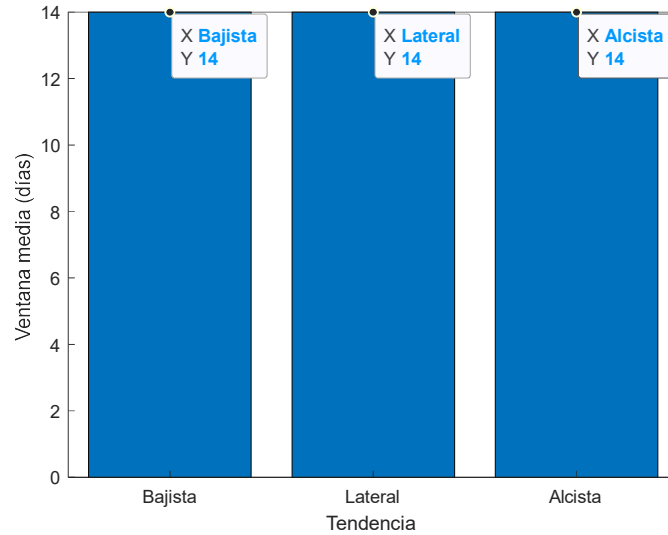


Figura 69: Ventana media según la tendencia

En la figura 69, se ve la media de las ventanas. En este caso al estar usando una matriz de parámetros globales para todas las acciones, la ventana siempre es 14.

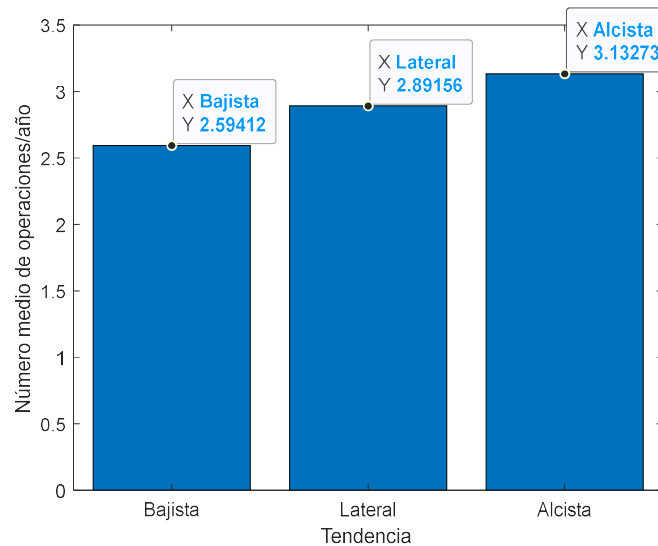


Figura 70: Número medio de operaciones/año según la tendencia

En la figura 70, se aprecia como aumenta el número medio de operaciones en función de la tendencia de las acciones. De media, cuanto más alcista es la tendencia, más operaciones medias al año se realizan.

Una de las razones por la que la rentabilidad activa en las acciones de tendencia alcista no mejora la pasiva puede ser debido a que se realizan más de media más operaciones al año por lo que pagan más comisiones a los brokers y pierden rentabilidad.

4.4.1.5 Análisis sobre la optimización en función de las variables continuas y discretas

Las gráficas obtenidas con la estrategia son las siguientes:

- Entre variables continuas y continuas:

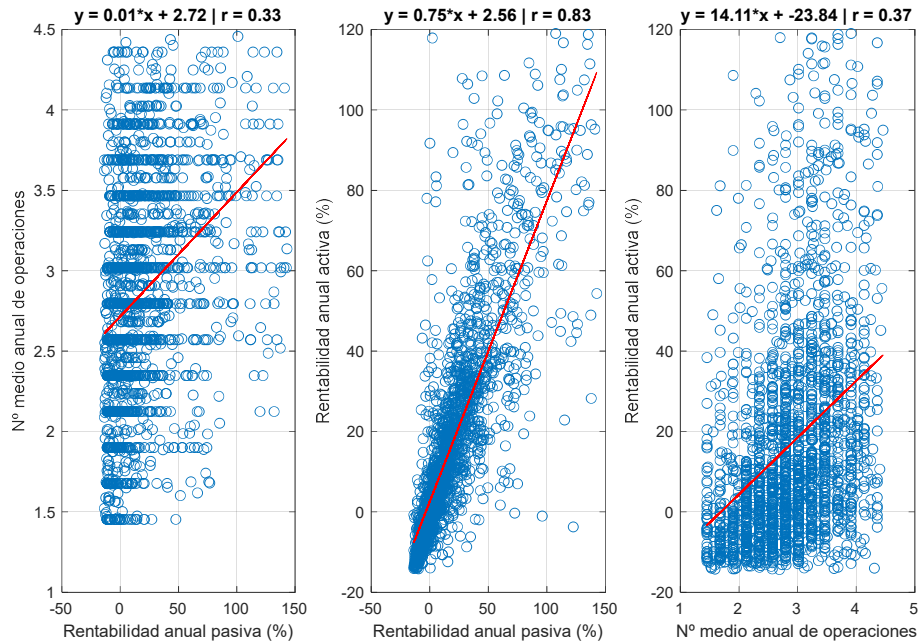


Figura 71: Correlación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva)

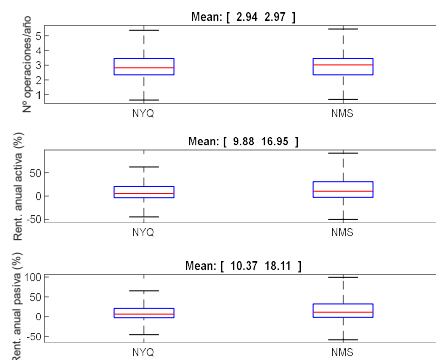
En la primera gráfica se observa que a medida que aumenta el número de operaciones aumenta la rentabilidad anual pasiva, por lo que a medida que el valor es más alcista, usando la estrategia se tiende a hacer más operaciones. Tiene un coeficiente de correlación de 0,33, no es muy alto, pero es aceptable, lo que indica que la conclusión es cierta pero no muy fuerte.

En la segunda gráfica, se ve que la rentabilidad anual activa aumenta a medida que aumenta la rentabilidad anual pasiva. Tiene un coeficiente de correlación bastante mejor, de 0,83, por lo que hay una relación entre las variables más fuerte.

Por último, la última gráfica relaciona el número medio anual de operaciones con la rentabilidad anual activa. A medida que sube el número medio anual de operaciones aumenta la rentabilidad anual activa. Tiene un coeficiente de correlación bajo, de 0,37, por lo que no es una relación muy fuerte. En este caso se han quitado los outliers, pero esto confirma lo explicado en el análisis del apartado 4.4.1.1, que no siempre cuantas más operaciones se hacen más rentable es, ya que cuantas más operaciones se hacen más comisiones cobra el bróker, por lo que pierdes mucha rentabilidad en comisiones. Hay que buscar un balance intermedio entre número de operaciones y rentabilidad.

– **Entre variables continuas y discretas definidas por texto:**

▪ **Por mercado**



En las gráficas de la figura 72 se muestra como la rentabilidad anual media activa y pasiva es mayor en el Nasdaq que en el New York Stock Exchange. También tiene mayor dispersión el Nasdaq pero ganan los valores altos a los bajos.

Figura 72: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (mercados)

■ **Por sectores:**

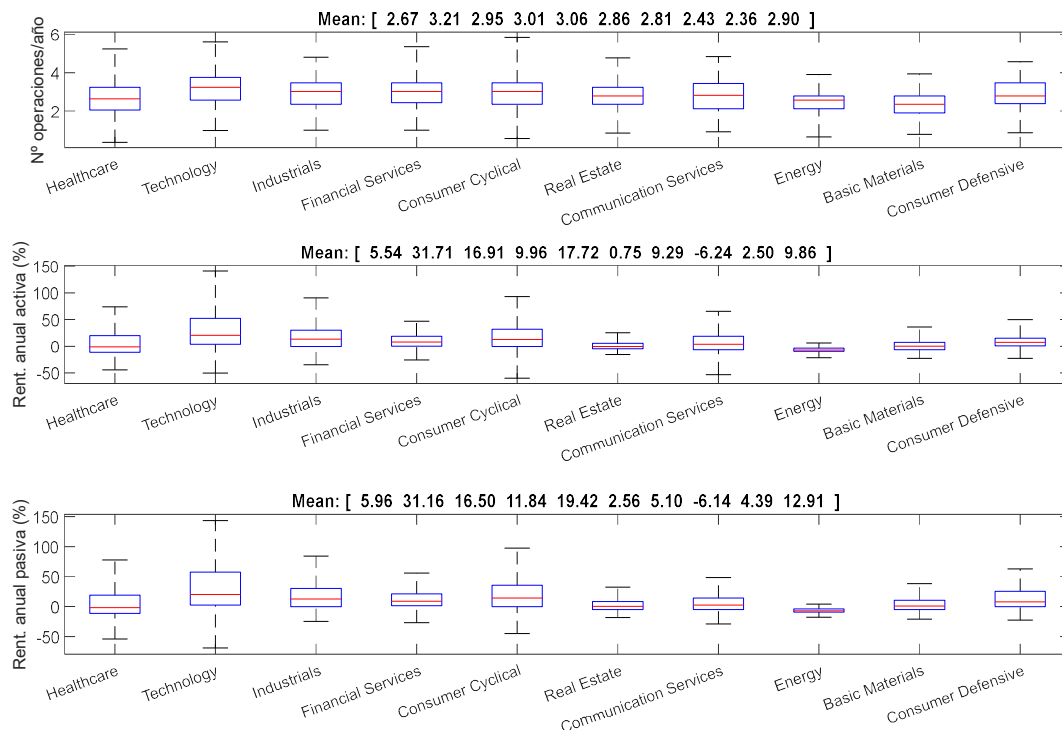


Figura 73: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores)

En la figura 73, en la primera gráfica se ve que el número de operaciones medio por año es bastante parecido en todos los sectores, varían entre 2,36 y 3,21, es decir que varían en una operación de compra o de venta de media al año aproximadamente. Las dispersiones confirman si las conclusiones sacadas son consistentes o no. En este caso las dispersiones son en todas medianamente parecidas y no muy altas, menos en el sector de salud, tecnología, servicios financieros y consumo cíclico que son un poco mayores.

En las dos siguientes gráficas se aprecia la rentabilidad activa y pasiva anual según el sector. La rentabilidad activa media anual va de -6,24% a 31,71% y la pasiva de -6,14% a 31,16%. Ambas la menor rentabilidad se da en el sector de energía y la más alta en el de tecnología. En este caso se observa que no siempre el método pasivo es mejor que la estrategia. La rentabilidad anual activa media del sector de tecnología, industrial y servicios de comunicación es mayor que la pasiva, por tanto, en estos casos es muy recomendable utilizar

la estrategia de inversión. Por último, el sector de tecnología tiene mucha dispersión en la rentabilidad activa, por lo que varía mucho el resultado de la estrategia según el valor que se seleccione.

▪ **Por industrias:**

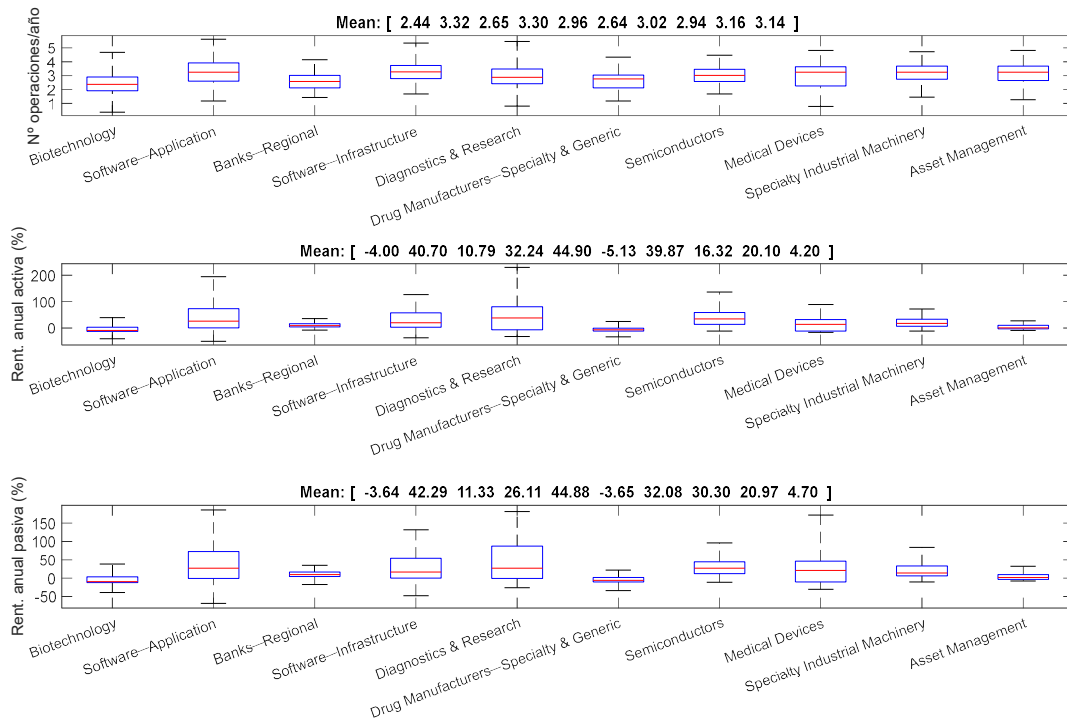


Figura 74: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (industrias)

En la figura 74, en la primera gráfica se ve que el número de operaciones medio por año varía entre 2,44 y 3,32 según la industria, es decir que varían en menos de una operación de compra o de venta de media al año. Las dispersiones son en todas medianamente parecidas.

En las dos siguientes gráficas se aprecia la rentabilidad activa y pasiva anual según la industria. La rentabilidad activa media anual va de -5,13% a 44,90% y la pasiva de -3,65% a 44,88%. La menor rentabilidad tanto activa como pasiva se da en la industria de fabricación de medicamentos—especial y genérico, y las más alta en diagnósticos e investigación. En este caso la rentabilidad activa de la industria de software—infraestructura, de diagnóstico e

investigación y de semiconductores superan su rentabilidad pasiva, por lo que es muy recomendable utilizar la estrategia de inversión para estas industrias.

– **Entre variables continuas y ellas mismas discretizadas:**

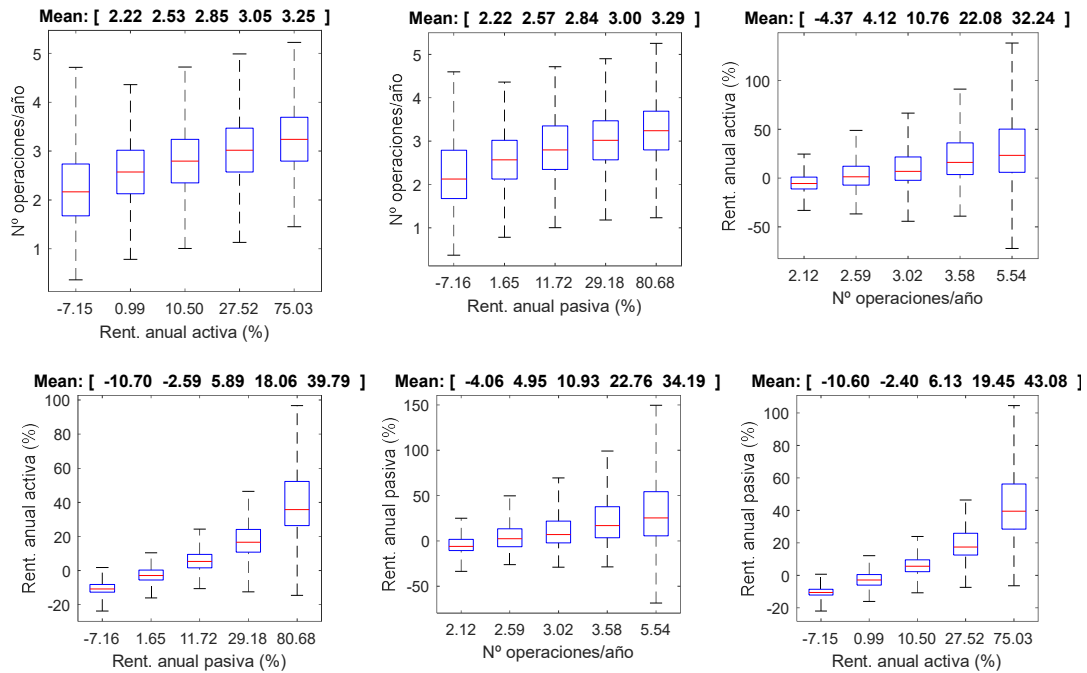


Figura 75: Relación entre variables continuas y continuas discretizadas

La figura 75 confirma las conclusiones de los apartados anteriores. Se ve en la primera, segunda, tercera y quinta gráfica como las rentabilidades activa y pasiva anual aumentan a medida que aumenta el número de operaciones. Aquí también están quitados los outliers y por eso no se ven más de 5,6 operaciones, que es cuando empieza a disminuir la rentabilidad por pagar tantas comisiones. Y en la cuarta y última gráfica se ve como la rentabilidad activa anual aumenta a medida que aumenta la rentabilidad pasiva anual.

4.4.2 OPTIMIZACIÓN DE CADA VALOR DE FORMA INDIVIDUAL

Para este caso se ha usado una matriz con valores de 9 años y se ha buscado la rentabilidad óptima en cada uno de esos valores. Esta rentabilidad es la máxima rentabilidad que se puede obtener utilizando el RSI con los parámetros adecuados para cada valor.

Lo que se quiere analizar es la existencia de algún tipo de dependencia. Por ejemplo, ver si esta rentabilidad óptima tiene algún tipo de tendencia alcista alta, alcista moderada, lateral, bajista moderada o bajista alta con el resto de las variables; si el número de operaciones al año es alto, medio alto, mediano, medio bajo o bajo; si la ventana es más grande o más pequeña; o si los resultados dependen del mercado, sector o industria al que pertenecen.

4.4.2.1 Análisis inicial sobre los parámetros óptimos

En la tabla 18 se muestran las distintas combinaciones de ventana, umbral inferior y umbral superior más usadas para la optimización de los valores. Cada valor usa su propia combinación con la cual consigue una rentabilidad anual activa óptima realizando un número determinado de operaciones.

Combinación de parámetros						
Ventana	Umbral inferior (%)	Umbral superior (%)	Rent. pasiva anual media (%)	Rent. activa anual media (%)	Nº operaciones anual medio	Nº de acciones
14	45	85	75.55	29.13	3.41	148
14	40	85	60.26	26.97	3.22	115
14	35	85	77.24	32.68	3.18	91
14	30	85	40.87	35.53	2.88	83
14	25	85	37.04	28.16	2.61	61
9	45	85	36.69	25.64	7.99	55
14	45	80	32.52	23.66	5.25	48
9	40	85	35.19	28.14	7.76	46
9	35	85	30.83	20.02	7.57	44
14	40	80	32.99	28.08	5.00	41
14	35	80	19.11	28.75	4.70	36
9	30	85	21.78	30.09	6.94	32
14	30	80	40.24	36.59	4.35	31

Tabla 18: Combinación de parámetros para la obtención de rentabilidades activas anuales óptimas

Se observa que la ventana más utilizada es la 14 y los umbrales inferiores son intermedios entre 25 y 45 mientras que los superiores son altos, 80 o 85. Se ve que, en estos casos de los parámetros más utilizados, de media es mejor usar el método pasivo en vez de utilizar la estrategia ya que casi todas las rentabilidades anuales medias pasivas son mayores que la

activas. Además, se ha calculado la media total de la rentabilidad anual activa y pasiva de todos los valores, y sigue siendo mayor la pasiva, con un 72,24% respecto a un 38,61% de la activa. También se ve claramente que la rentabilidad activa sube a medida que sube la pasiva. Sin embargo, no se aprecia ningún patrón muy claro respecto al número medio de operaciones al año, ya que es muy variado y no está ligado a que suba o baje según suba o baje la rentabilidad anual.

4.4.2.2 *Análisis de la rentabilidad en función de si reinviertes o no los beneficios*

Se ha hecho un análisis para ver si da mayor rentabilidad la estrategia retirando beneficios y reponiendo pérdidas o reinvertiendo los beneficios y manteniendo las pérdidas en cada operación.

En la tabla 19 se resumen el porcentaje de máximos de rentabilidad activa comparando una estrategia frente a la otra y la media de la rentabilidad activa anual de cada estrategia para todos los valores.

	Estrategia	
	Sin reinversión	Con reinversión
% de máximos de la rentabilidad activa	14.32%	85.68%
Media de la rentabilidad activa	28.35%	55.22%

Tabla 19: Porcentaje de máximos y medias de la rentabilidad activa según la estrategia (sin reinversión o con reinversión)

Por lo que se ve en esta tabla, hay más rentabilidades mayores y mayor media de la rentabilidad activa con la estrategia con reinversión que sin reinversión. Las diferencias son muy altas entre los resultados de las dos estrategias, por lo que la conclusión es muy fuerte, se consigue mucha más rentabilidad utilizando la estrategia con reinversión. Esto se confirma con la figura 76 donde está representada una gráfica de puntos de dispersión con su recta de correlación (roja) y una recta $y=x$ (verde).

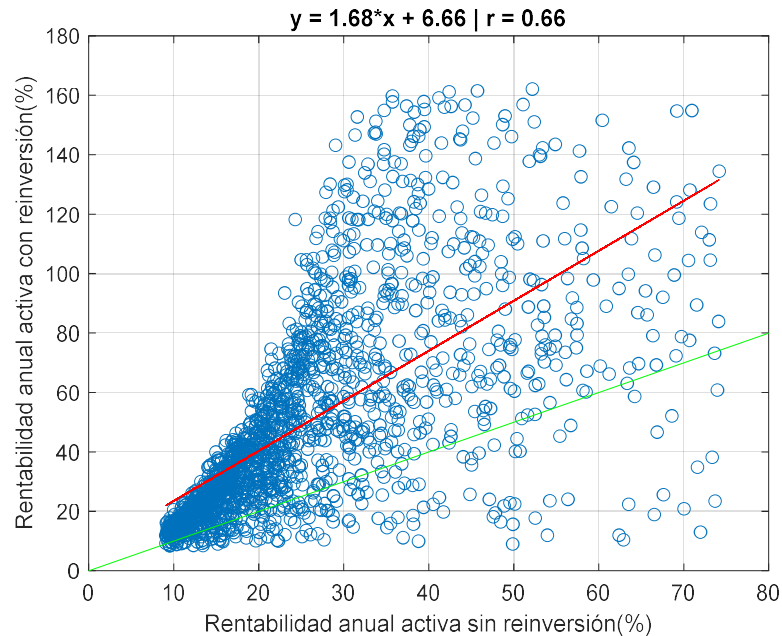


Figura 76: Relación entre la rentabilidad anual activa según la estrategia con reinversión y sin reinversión

El coeficiente de correlación es alto, de 0,66, por lo que es una conclusión considerable. Se ve claramente que la mayoría de los puntos y la recta de correlación (roja) están por encima de la recta verde ($x=y$), por lo que la rentabilidad anual activa con reinversión es mucho mayor que sin reinversión para la mayoría de las acciones. Es muy recomendable utilizar la estrategia con reinversión en este caso. La diferencia de rentabilidades media de ambas estrategias es bastante grande.

4.4.2.3 Análisis de la rentabilidad en función del sentido de cruce de los umbrales

Se ha hecho un análisis para ver si da mayor rentabilidad la estrategia con el sentido de cruces del umbral inferior y superior ascendente y descendente, descendente y ascendente, ambos descendentes o ambos ascendentes.

En la tabla 20 se resumen el porcentaje de máximos de rentabilidad activa comparando las rentabilidades de cada estrategia y la media de la rentabilidad activa anual de cada estrategia para todos los valores.

	Combinación de cruces			
	↗ ↘	↘ ↗	↘ ↘	↗ ↗
% de máximos de la rentabilidad activa	42.10%	13.05%	18.95%	25.90%
Media de la rentabilidad activa	50.59%	30.56%	37.57%	40.81%

Tabla 20: Porcentaje de máximos y medias de la rentabilidad activa según la combinación de umbrales

Por lo que se ve en la tabla 20, tanto en el análisis de porcentaje de máximos de rentabilidad activa y el de media de la rentabilidad activa claramente la mejor estrategia sería la estándar. Esto se confirma con la figura 77 donde está representada una gráfica de puntos de dispersión con su recta de correlación (roja) y una recta $y=x$ (verde) para todas las combinaciones de cruces de dos en dos.

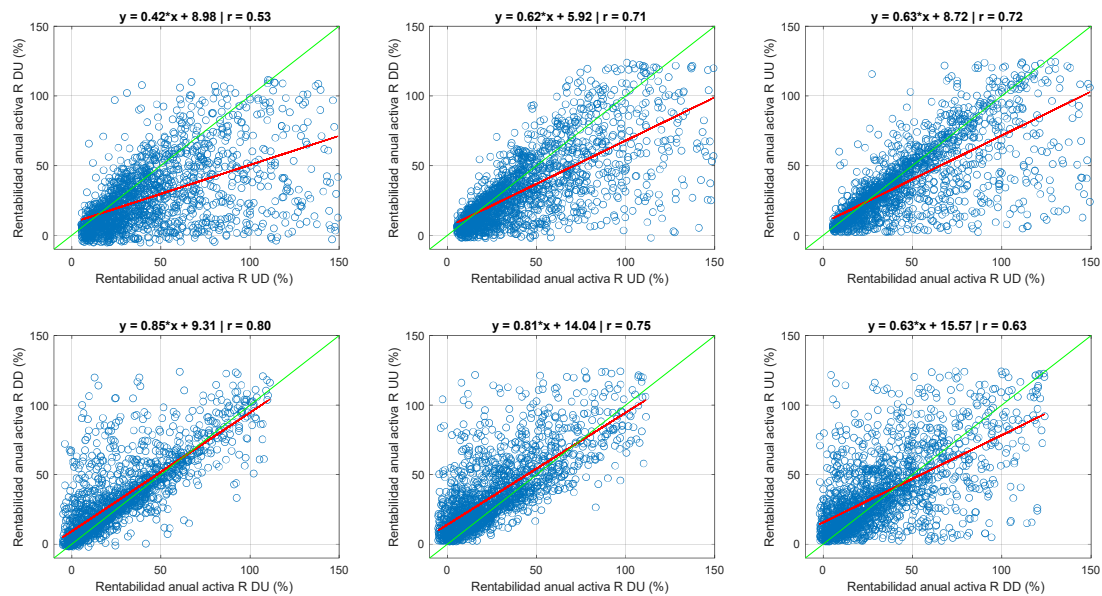


Figura 77: Relación entre la rentabilidad anual activa según la combinación del sentido de cruce de umbrales de la estrategia

En las seis gráficas los coeficientes de correlación son altos, de 0,53 hacia arriba, por lo que son conclusiones también fuertes. En las tres primeras gráficas, se ve claramente que la mejor estrategia es la de combinación del sentido de cruces de umbrales ascendente y descendente (UD), el caso estándar que defiende la literatura. En estas tres gráficas la mayoría de los puntos están por debajo de la recta verde ($x=y$) por lo que la máxima rentabilidad para la mayoría de las acciones se consigue comprando cuando el RSI cruza el umbral inferior en sentido ascendente y se vende cuando cruza el umbral superior en sentido descendente. La

diferencia de rentabilidades entre las estrategias DU, DD y UU es bastante grande en comparación con la estrategia estándar UD.

4.4.2.4 Análisis sobre la optimización en función de la tendencia (bajista, lateral o alcista)

En este apartado (4.4.2.4.) y el siguiente (4.4.2.5.) se ha utilizado una matriz de acciones de 9 años con parámetros individuales para cada acción. Además, tras los estudios del apartado 4.4.2.2. y 4.4.2.3. se ha va a usar una inversión no geométrica y dando las señales de compra cuando cruza en sentido ascendente el umbral inferior y las de venta cuando cruza en sentido descendente el umbral superior, ya que con estos se obtienen los resultados más óptimos.

Así se ve si de alguna manera, como por ejemplo filtrando las acciones según su tendencia (bajista, lateral y alcista), se consigue una rentabilidad mayor que la obtenida con el método pasivo.

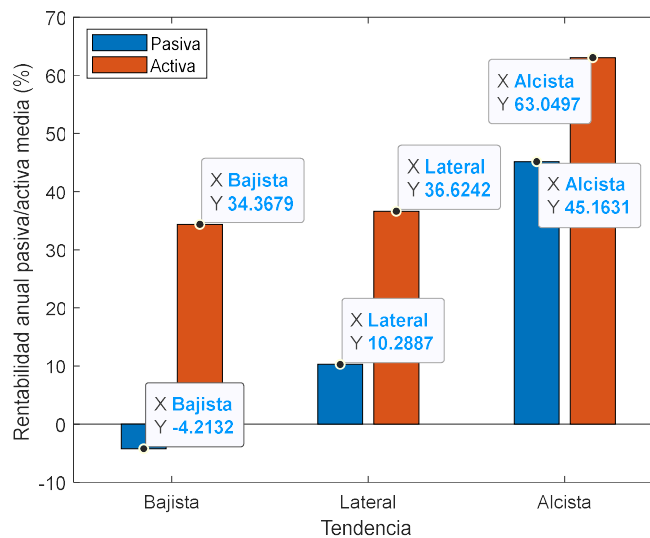


Figura 78: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia

En la figura 78, se observa que en los tres casos (tendencia bajista, lateral y alcista) la rentabilidad activa media es mejor que la pasiva, por lo que de media se recomienda usar la estrategia de optimización del RSI siempre frente al buy & hold.

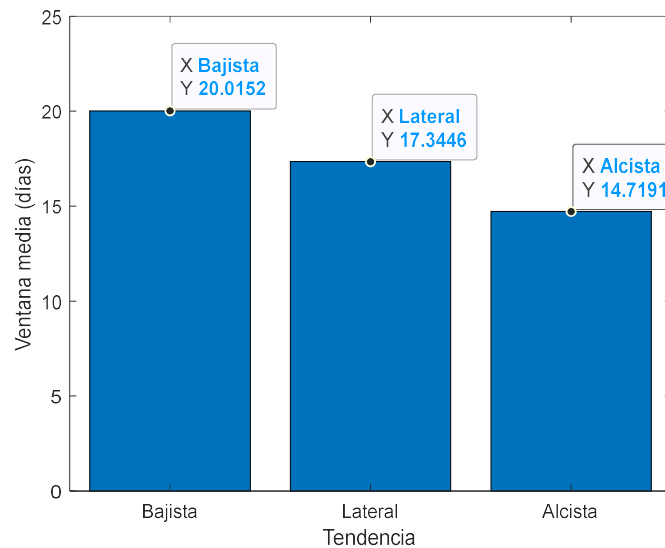


Figura 79: Ventana media según la tendencia

En la figura 79, se ve la media de las ventanas. En este caso no siempre es la misma, ya que se ha realizado una optimización de los parámetros de forma individual para cada acción. Se aprecia que de media, cuanto más alcista es la tendencia de la acción, se usa una ventana menor.

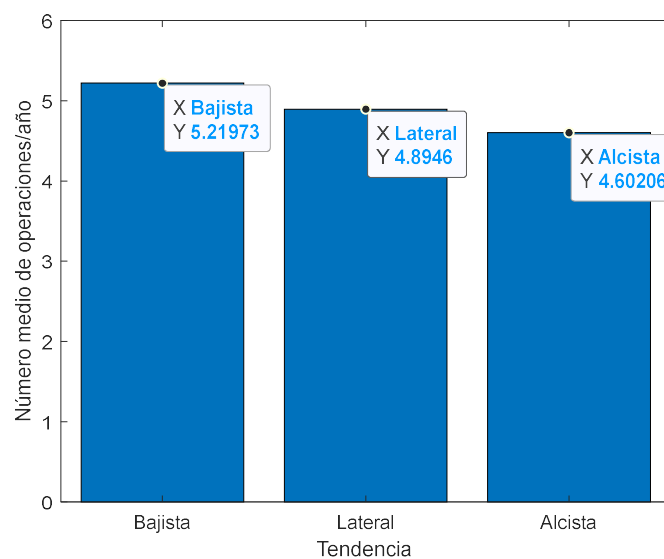


Figura 80: Número medio de operaciones/año según la tendencia

En la figura 80, se aprecia como disminuye el número medio de operaciones en función de la tendencia de las acciones. De media, cuanto más alcista es la tendencia, menos operaciones medias al año se realizan, al contrario que en el caso de optimización con parámetros comunes.

A medida que la tendencia es más alcista, de media se utilizan ventanas menores y se realizan menos operaciones anuales medias al año. En este caso, al realizar menos operaciones, se paga menos comisiones a los brokers y se pierde menos rentabilidad.

4.4.2.5 Análisis sobre la optimización en función de las variables continuas y discretas

Las gráficas obtenidas con esta estrategia son las siguientes:

- Entre variables continuas y continuas:

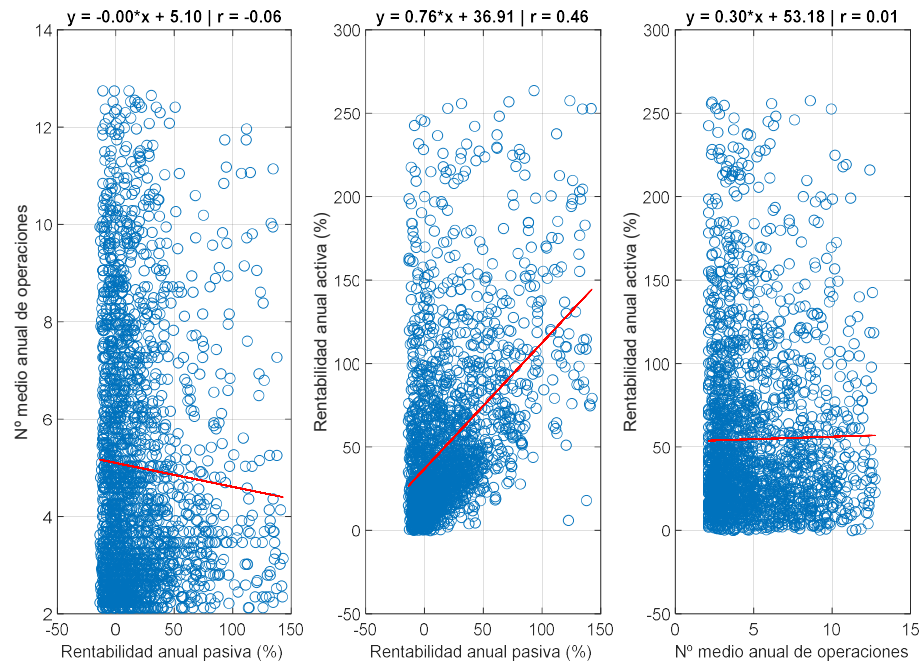


Figura 81: Correlación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva)

En la figura 81, en la primera gráfica se observa que a medida que aumenta la rentabilidad anual pasiva disminuye el número de operaciones, por lo que a medida que el valor es más alcista, usando la estrategia se tiende a hacer menos operaciones. Tiene un coeficiente de correlación de -0,06, muy bajo, lo cual indica que la conclusión tiene muy poca fuerza.

En la segunda gráfica, se ve que la rentabilidad anual activa aumenta a medida que aumenta la rentabilidad anual pasiva. Tiene un coeficiente de correlación mejor que el anterior, de 0,46, sigue siendo bajo pero hay una relación entre las variables más fuerte.

Por último, la última gráfica relaciona el número medio anual de operaciones con la rentabilidad anual activa. A medida que sube el número medio anual de operaciones aumenta la rentabilidad anual activa. Tiene el coeficiente de correlación más bajo, de 0,01, por lo que es una relación floja.

– **Entre variables continuas y discretas definidas por texto:**

▪ **Por mercado:**

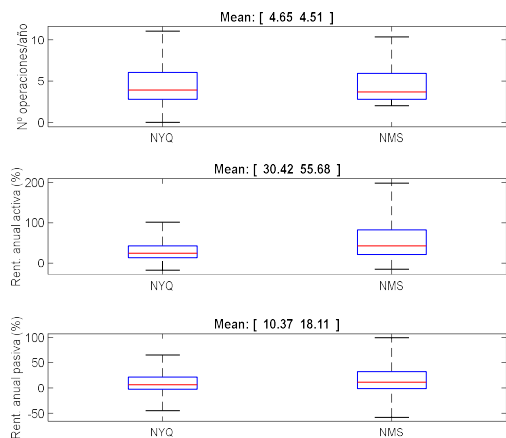


Figura 82: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (mercados)

En las gráficas de la figura 82 se muestra como la rentabilidad anual media activa y pasiva es mayor en el Nasdaq que en el New York Stock Exchange. También tiene mayor dispersión el Nasdaq pero ganan los valores altos a los bajos. En cambio, el número de operaciones al año es menor en el Nasdaq, aunque prácticamente igual, la media no tiene diferencia ni de una operación.

■ **Por sectores:**

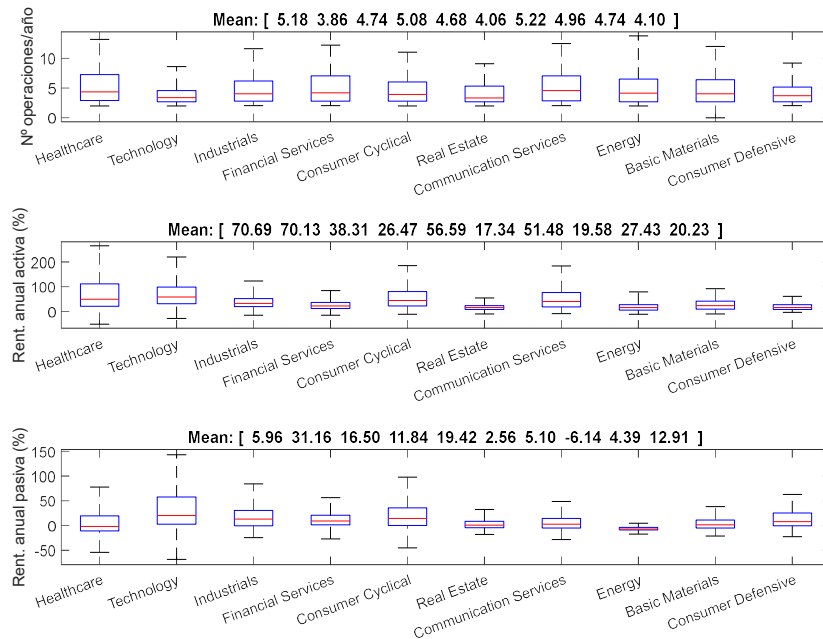


Figura 83: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores)

En la figura 83, en la primera gráfica se ve que el número de operaciones medio por año es bastante parecido en todos los sectores, varían entre 3,86 y 5,22, es decir que varían en una operación de compra o de venta de media al año aproximadamente. Las dispersiones confirman si las conclusiones sacadas son consistentes o no. En este caso sí que hay dispersiones bastante altas como por ejemplo en el sector de la salud y de energía.

En las dos siguientes gráficas se aprecia la rentabilidad activa y pasiva anual según el sector. La rentabilidad activa media anual va de 17,34% a 70,69% y la pasiva de -6,14% a 31,16%. La menor rentabilidad activa se da en el sector de inmobiliario y la pasiva en el de energía y la más alta activa en el de salud y pasiva en el de tecnología. En este caso se observa que sin duda es mejor realizar la estrategia en vez de tener un método pasivo de buy and hold ya que en todos los sectores gana la rentabilidad activa a la pasiva. Por último, el sector de salud tiene mucha dispersión en la rentabilidad activa, por lo que varía mucho el resultado de la estrategia según el valor que se seleccione.

■ **Por industrias:**

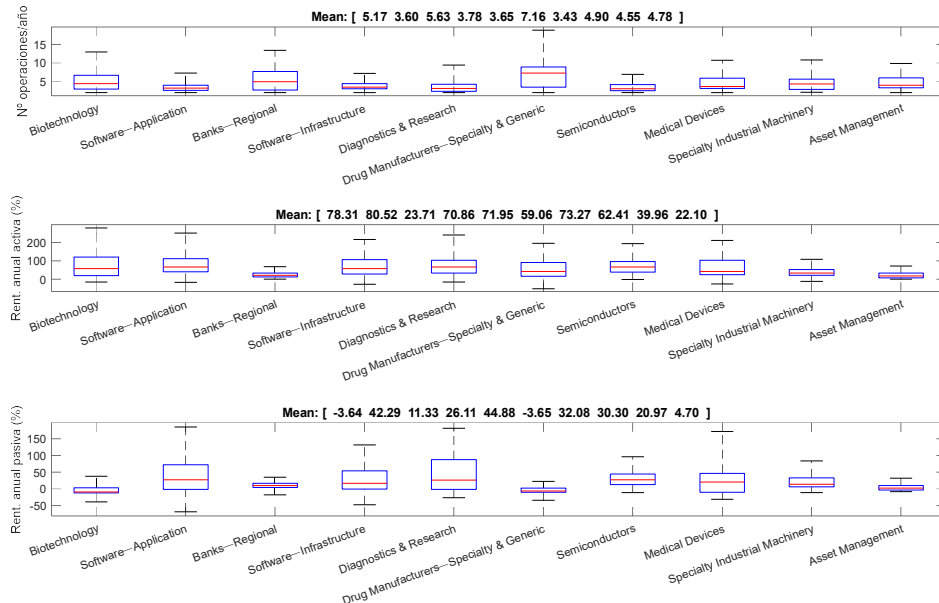


Figura 84: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (industrias)

En la figura 84, en la primera gráfica se ve que el número de operaciones medio por año varía entre 3,43 y 7,16 según la industria, es decir que varían en casi cuatro operaciones de compra o de venta de media al año. Las dispersiones son en todas medianamente parecidas salvo en fabricantes de medicamentos que es mucho mayor, varían mucho el número de operaciones en este sector.

En las dos siguientes gráficas se aprecia la rentabilidad activa y pasiva anual según la industria. La rentabilidad activa media anual va de 22,10% a 80,52% y la pasiva de -3,65% a 44,88%. La menor rentabilidad activa se da en la industria de gestión de activos, la pasiva en biotecnología y la rentabilidad activa más alta es en aplicación software y la pasiva en diagnósticos e investigación. En este caso también se observa que sin duda es mejor realizar la estrategia en vez de tener un método pasivo de buy and hold ya que en todos los sectores gana la rentabilidad activa a la pasiva.

– Entre variables continuas y discretas (centro y diferencia de umbrales):

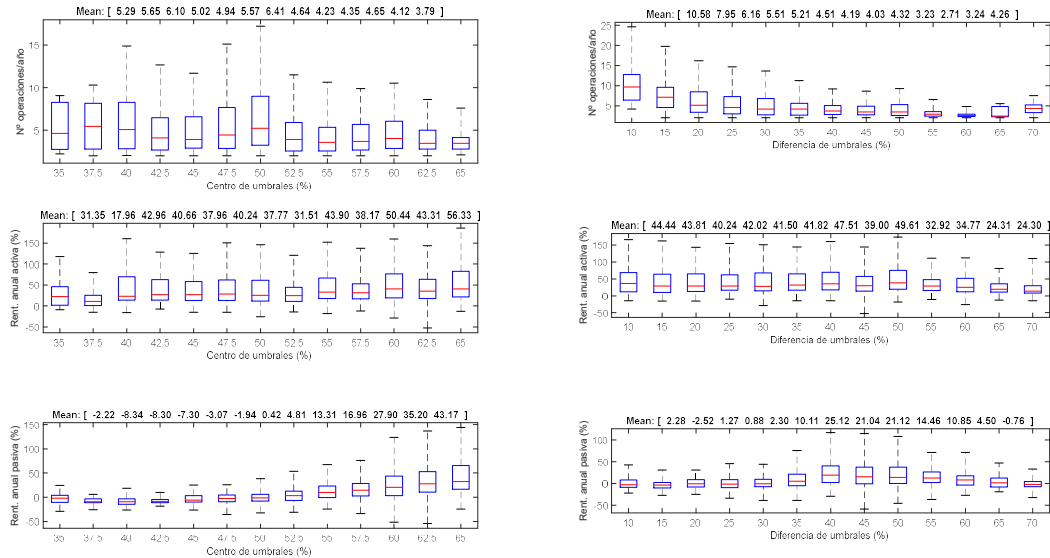


Figura 85: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (centro y diferencia de umbrales)

En la figura 85 no se encuentra ninguna relación muy clara del número de operaciones y de la rentabilidad anual activa respecto al centro de umbrales, mientras que a medida que aumenta el centro de umbrales también aumenta la rentabilidad pasiva. Respecto a la diferencia de umbrales, se ve claramente que a medida que disminuye, el número de operaciones aumenta. También se puede apreciar una pequeña relación con la rentabilidad anual activa, a medida que la diferencia de umbrales es más pequeña, la rentabilidad anual activa aumenta. Por lo tanto, con estas dos últimas conclusiones se concluye que a medida que aumenta el número de operaciones, también aumenta la rentabilidad anual activa. No obstante, hasta un cierto punto, ya que cuando el número de operaciones es exageradamente alto se pierde gran parte de la rentabilidad con las comisiones que hay que pagar al bróker. Por último, se ve que la rentabilidad pasiva aumenta cuando la diferencia de umbrales es intermedia, ni muy alta ni muy baja.

- Entre variables continuas y ellas mismas discretizadas:

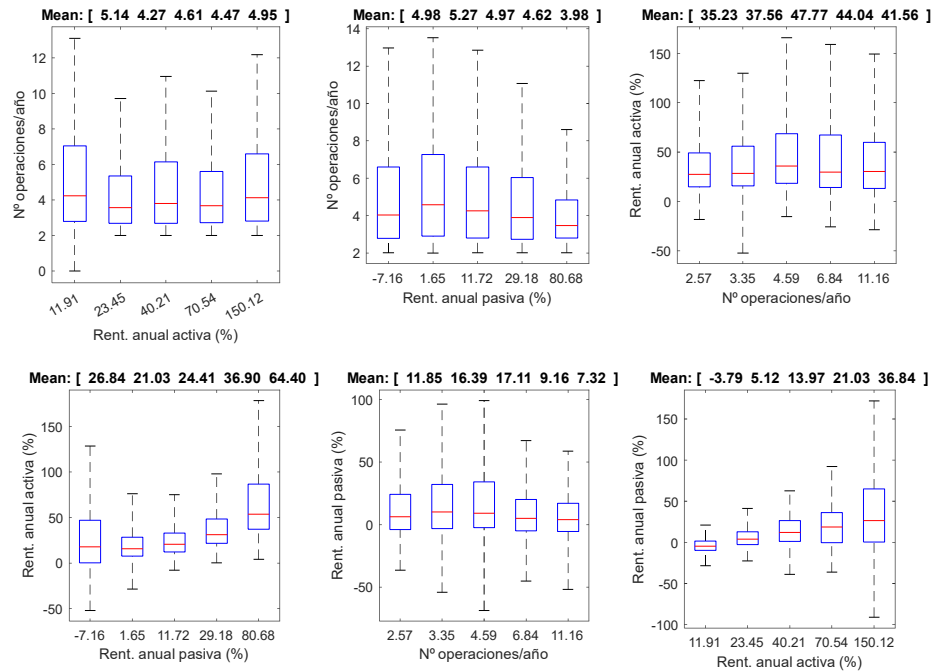


Figura 86: Relación entre variables continuas y continuas discretizadas

La figura 86 confirma las conclusiones de los apartados anteriores. Se ve en la primera, segunda, tercera y quinta gráfica como el número de operaciones medio es bastante parecido aunque aumenten las rentabilidades activa y pasiva anual. Y en la cuarta y última gráfica se ve como la rentabilidad activa anual aumenta a medida que aumenta la rentabilidad pasiva anual. Por último, se puede apreciar que hay dispersiones muy grandes, por lo que los valores varían bastante y las conclusiones no son tan fuertes.

4.4.3 PERSISTENCIA DEL ÓPTIMO EN EL TIEMPO

En este caso se han usado datos de valores de 9 años y se han dividido en dos tramos. Los datos del primer tramo (los primeros 5 años) se han utilizado para hacer la optimización de cada valor para obtener la rentabilidad óptima y se ha analizado si en el segundo tramo (los

últimos 4 años) se mantiene esa rentabilidad o no si se mantienen los mismos parámetros que en el primer tramo.

Se ha utilizado una matriz que utiliza una estrategia de inversión geométrica, reinvertiendo los beneficios y añadiendo las pérdidas en cada operación y se han dado las señales de compra cuando se cruza el umbral inferior en sentido ascendente y de venta cuando se cruza el umbral superior en sentido descendente.

4.4.3.1 Análisis para la optimización global

Cada valor va a tener su óptimo de forma común, como en el apartado 4.4.1, en el que todas las acciones usan los mismos parámetros. Dichos parámetros son ventana 14 y umbrales 40 y 85.

4.4.3.1.1 Análisis estadístico general

En la tabla 21 se resume el porcentaje de rentabilidad pasiva mayor en un tramo u otro, y dentro de esos grupos el porcentaje de rentabilidad activa mayor en un tramo u otro.

% de rent. pasiva mayor en el primer tramo	50.57%	% de rent. activa mayor en el primer tramo	68.23%
		% de rent. activa mayor en el segundo tramo	31.77%
% de rent. pasiva mayor en el segundo tramo	49.43%	% de rent. activa mayor en el primer tramo	31.52%
		% de rent. activa mayor en el segundo tramo	68.48%

Tabla 21: Comparación de las rentabilidades entre los dos tramos

Por lo que se ve en la tabla, hay un 50,57% de valores cuya rentabilidad pasiva es mayor en el primer tramo que en el segundo. Además, se aprecia que, del porcentaje de rentabilidades pasivas mayor en cada uno de esos tramos, el porcentaje de activas mayor en dichos tramos es del 68% aproximadamente. Con esto se concluye, igual que en apartados anteriores, que a medida que sube la rentabilidad pasiva, también sube la rentabilidad activa.

4.4.3.1.2 Análisis de la optimización

En este apartado se han analizado las siguientes gráficas para comparar los resultados de los dos tramos:

- En función de la tendencia (bajista, lateral y alcista):

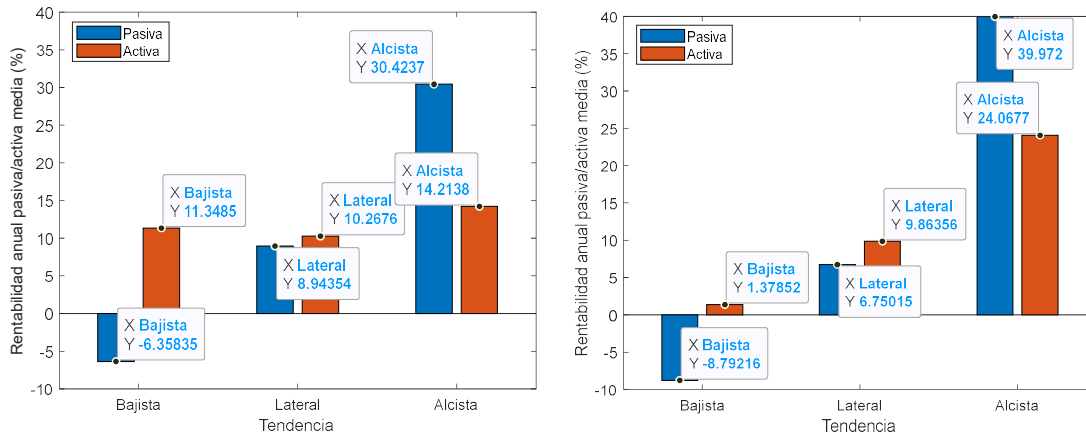


Figura 87: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia en los primeros 5 años (izquierda) y los siguientes 4 (derecha)

En la figura 87, en la gráfica de la izquierda, se ve la rentabilidad activa y pasiva de ellos primeros 5 años tras la optimización. En este caso se ve que de media las acciones que tienen tendencia bajista o lateral la estrategia de optimización del RSI es mejor que la estrategia de buy & hold, mientras que en las acciones con tendencia alcista, es al contrario, de media es mejor la estrategia de buy & hold.

En la gráfica de la derecha, se ve la misma gráfica pero de los siguientes 4 años sin optimizar, usando los mismos parámetros que en los primeros años. En este caso sucede lo mismo que en el anterior respecto a las tendencias y estrategias. Además, comparando el primer tramo con el segundo, se ve que la rentabilidad activa anual media de las acciones de tendencia bajista, en el segundo tramo disminuye mucho, por lo que no son los parámetros óptimos, en las acciones de tendencia lateral los resultados son muy parecidos y en las acciones con tendencia alcista la rentabilidad activa del segundo tramo supera al de los primeros años, por lo que se puede considerar que se están utilizando buenos parámetros para utilizarlos esos últimos 4 años.

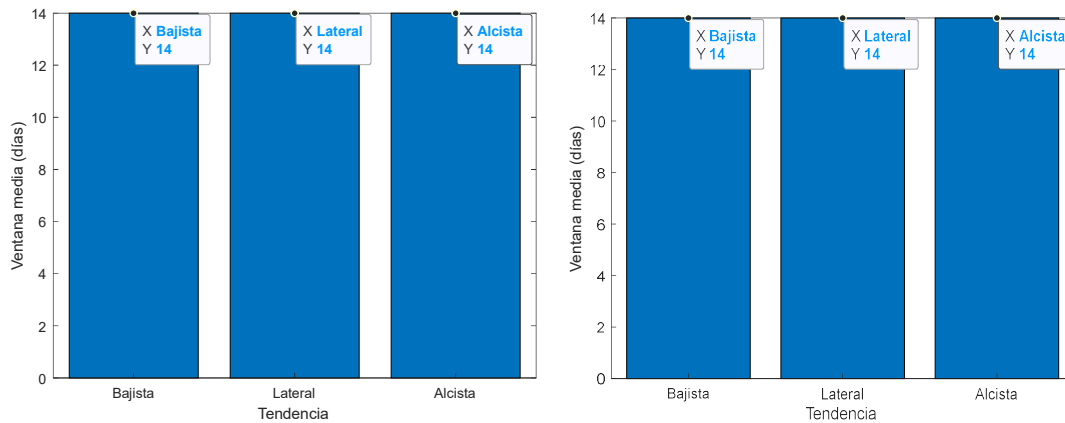


Figura 88: Ventana media según la tendencia en los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)

Respecto a las ventanas, en la gráfica 88 se ve que la media es siempre 14 ya que estamos en el caso de optimización global, por lo que los parámetros son siempre los mismos.

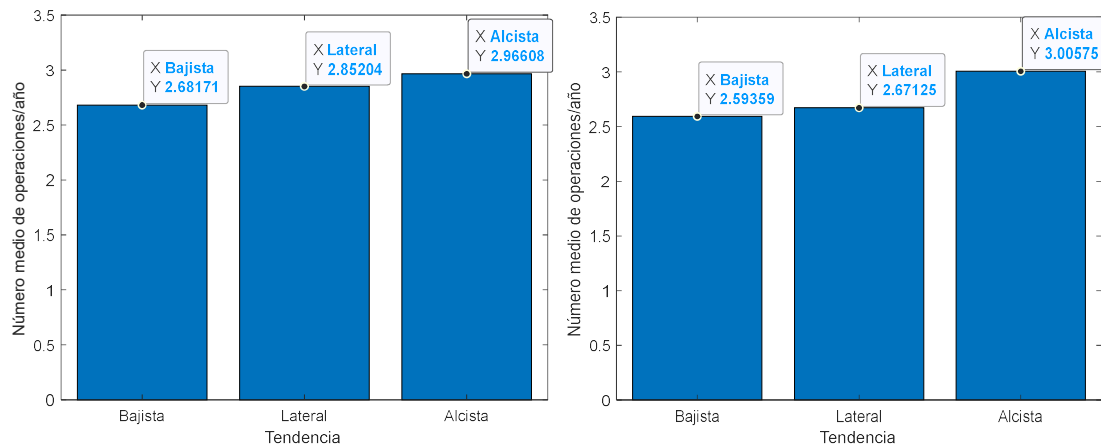


Figura 89: Número medio de operaciones/año según la tendencia en los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)

Por último, se ha analizado el número de operación media que se han hecho al año y se ve que en los dos tramos son prácticamente igual.

Analizando la optimización de forma global de los primeros 5 años y manteniendo los parámetros los siguientes 4 años, se puede decir que de media de todas las acciones los resultados persisten en el tiempo. No obstante, las rentabilidades activas media de las acciones con tendencia bajista disminuyen mucho en el segundo tramo mientras que las de tendencia alcista aumentan.

– Entre variables continuas y continuas:

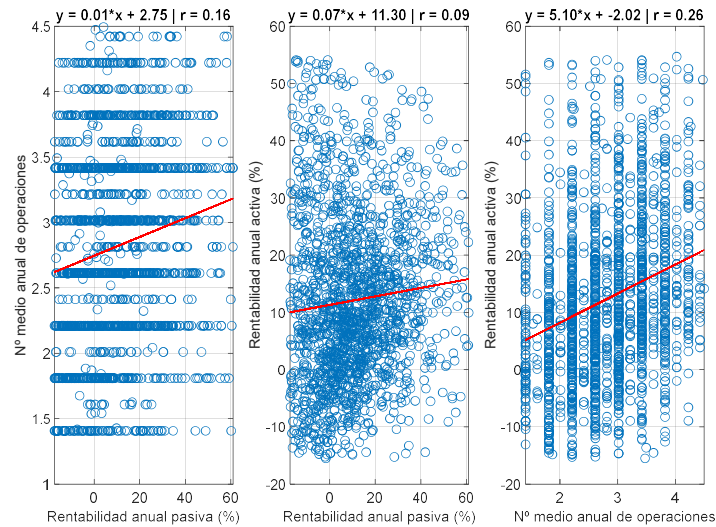


Figura 90: Correlación entre las variables continuas (número de operaciones al año y rentabilidad anual activa y pasiva) de los primeros 5 años

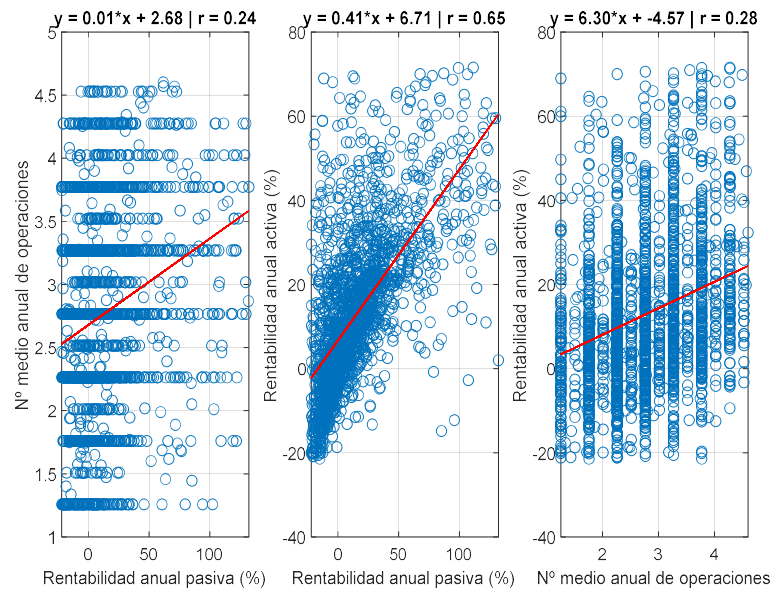


Figura 91: Correlación entre las variables continuas (número de operaciones al año y rentabilidad anual activa y pasiva) de los últimos 4 años

En la figura 90 se ve como en los primeros 5 años la rentabilidad anual pasiva crece a media que aumenta el número de operaciones o la rentabilidad anual activa y el número anual de

operaciones aumenta a medida que crece la rentabilidad anual. No obstante, los tres casos tienen coeficientes de correlación muy bajos, de 0,18, 0,09 y 0,28.

En la figura 91, de los siguientes 4 años, se ha comprobado si se mantienen las mismas tendencias que en los primeros cinco años. En los tres casos se cumple la relación positiva y mejora el coeficiente de correlación a 0,24, 0,65 y 0,28.

- Entre variables continuas y discretas definidas por texto:
 - Por mercado:

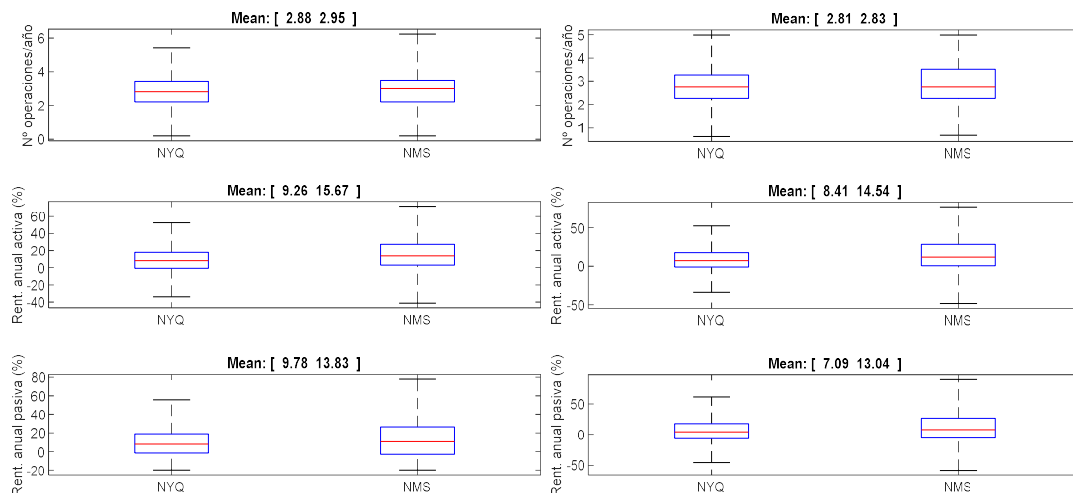


Figura 92: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (mercados) de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)

Como se muestra en la figura 92, en los primeros años el número de operaciones medio al año era de aproximadamente 2,9 en ambos mercados. Además, la rentabilidad anual activa es superior a la pasiva en el Nasdaq mientras que es muy parecida en el NYSE. En los siguientes 4 años el número de operaciones medio es prácticamente igual y la rentabilidad activa en este caso es mayor que la pasiva en ambos mercados. No obstante, las rentabilidades tanto activas como pasivas son más bajas que en los primeros años, con una bajada de media de 1%. Por lo tanto, se concluye que en los primeros años es bueno usar la estrategia en el Nasdaq y en los últimos es mejor usar la estrategia en ambos mercados respecto al buy and hold.

■ **Por sectores:**

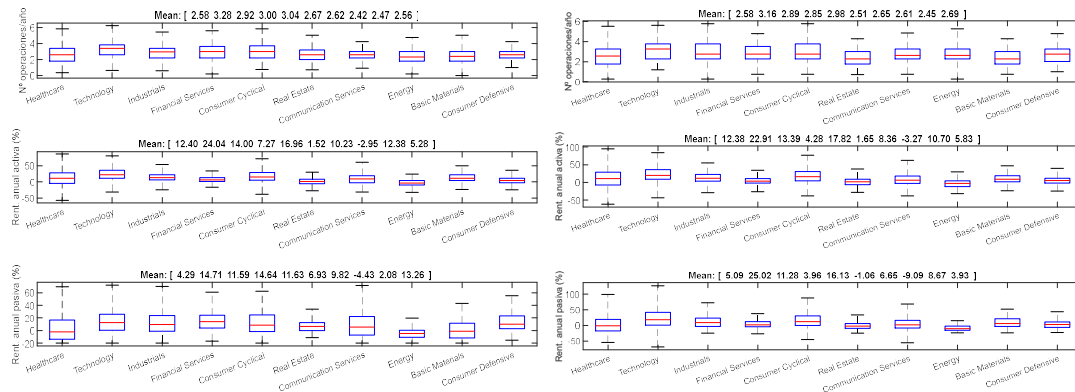


Figura 93: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores) de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)

Como se muestra en la figura 93, en los primeros años el número de operaciones medio al año de cada sector es entre 2,5 y 3,3, casi igual que en los siguientes 4 años. Respecto a la rentabilidad activa, también se mantiene a lo largo de los años, en este caso hay algunas que son un poco menor en el segundo tramo pero prácticamente iguales. Por último, respecto a la rentabilidad pasiva, no hay cambios generales, algunos sectores la tienen mayor, menor o igual en el segundo tramo que en el primero, por lo tanto, no se llega a ninguna conclusión general, depende de cada sector.

■ **Por industrias:**

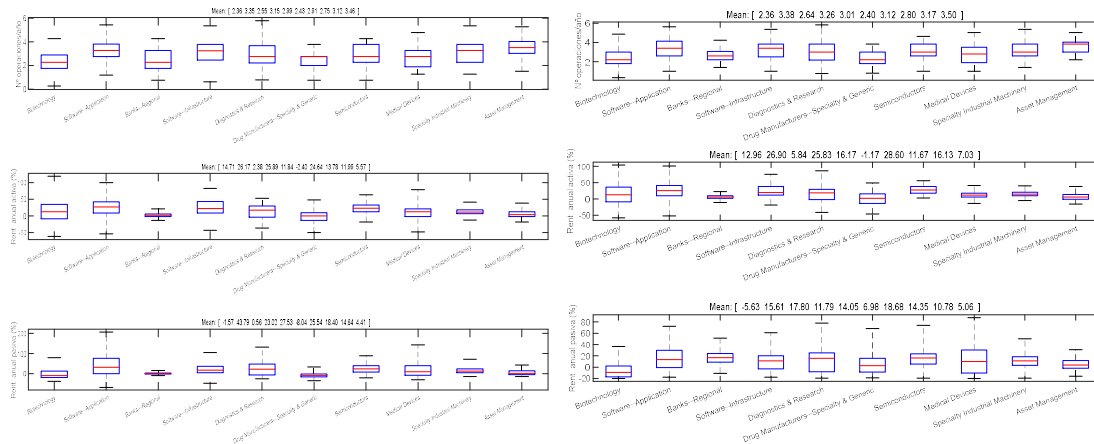


Figura 94: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (industrias) de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)

Como se muestra en la figura 94, en los primeros años el número de operaciones medio al año de cada industria es entre 2,3 y 3,5, casi igual que en los siguientes 4 años. Respecto a la rentabilidad activa, también se mantiene a lo largo de los años, en este caso hay algunas que son un poco mayor en el segundo tramo pero muy parecidas. Por último, respecto a la rentabilidad pasiva, no hay cambios generales, algunos sectores la tienen mayor, menor o igual en el segundo tramo que en el primero, por lo tanto, no se llega a ninguna conclusión general, depende de cada industria.

– Entre variables continuas y ellas mismas discretizadas:

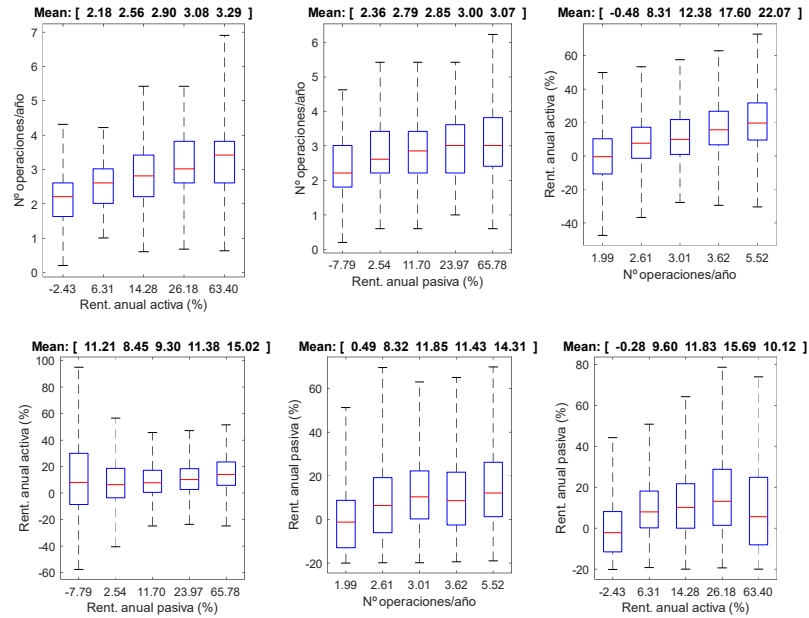


Figura 95: Relación entre variables continuas y continuas discretizadas de los primeros 5 años

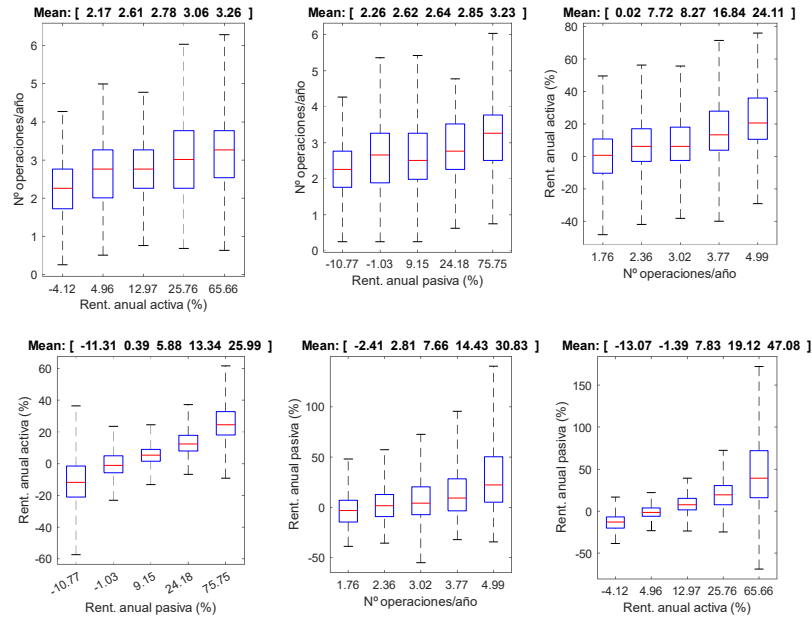


Figura 96: Relación entre variables continuas y continuas discretizadas de los últimos 4 años

Como se muestra en las figuras 95 y 96, en los primeros años el número de operaciones medio al año es entre 2,1 y 3,3, casi igual que en los siguientes 4 años. Respecto a la rentabilidad activa y pasiva, se puede considerar que se mantienen las medias en el segundo tramo salvo para el último rango de la discretización en la que las medias de rentabilidad activa y pasiva son mucho mayores en los últimos 4 años.

4.4.3.2 Análisis para la optimización individual

Cada valor va a tener su óptimo de forma individual, como en el apartado 4.4.2, en el que cada acción usa unos parámetros independientemente del resto de acciones.

4.4.3.2.1 Análisis estadístico general

En la tabla 22 se resume el porcentaje de rentabilidad pasiva mayor en un tramo u otro, y dentro de esos grupos el porcentaje de rentabilidad activa mayor en un tramo u otro.

% de rent. pasiva mayor en el primer tramo	55.25%	% de rent. activa mayor en el primer tramo	96.01%
		% de rent. activa mayor en el segundo tramo	3.99%
% de rent. pasiva mayor en el segundo tramo	44.75%	% de rent. activa mayor en el primer tramo	77.81%
		% de rent. activa mayor en el segundo tramo	22.19%

Tabla 22: Comparación de las rentabilidades entre los dos tramos

Por lo que se ve en la tabla, hay un 55,25% de valores cuya rentabilidad pasiva es mayor en el primer tramo que en el segundo. Además, se aprecia que, del porcentaje de rentabilidades pasivas mayor en cada uno de esos tramos, el porcentaje de activas mayor siempre es en el primer tramo, 96,01% y 77,81% respectivamente. No obstante, el porcentaje de rentabilidad activa mayor en el segundo tramo pasa de 3,99% cuando hay mayor porcentaje de rentabilidades pasivas en el primer tramo a 22,19% cuando el porcentaje de rentabilidades pasivas es mayor en el segundo tramo.

4.4.3.2.2 Análisis de la optimización

En este apartado se han analizado las siguientes gráficas para comparar los resultados de los dos tramos:

– En función de la tendencia (bajista, lateral y alcista):

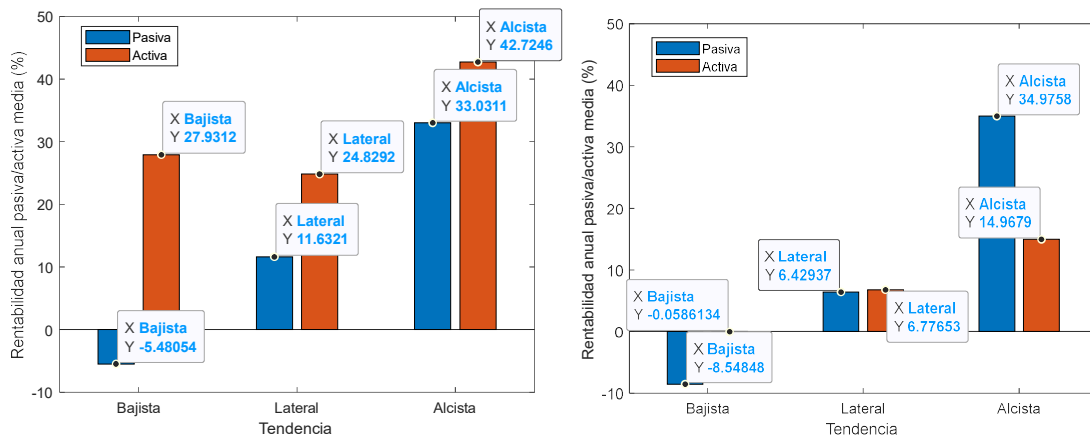


Figura 97: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia en los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)

En la figura 97, en la gráfica de la izquierda, se ve la rentabilidad activa y pasiva de los primeros 5 años tras la optimización. En este caso se ve que de media para las acciones con cualquier tendencia la estrategia de optimización del RSI es mejor que la estrategia de buy & hold. Además, cabe resaltar que en este caso, las acciones con tendencia bajista, de media tienen mayor rentabilidad anual activa que las de tendencia lateral.

En la gráfica de la derecha, se ve la misma gráfica pero de los siguientes 4 años sin optimizar, usando los mismos parámetros que en los primeros años. En este caso no funciona tan bien. En las acciones con tendencia bajista si que mejora la estrategia frente al buy & hold. Sin embargo, en las acciones de tendencia lateral, de media, la rentabilidad activa y pasiva es prácticamente la misma y en las acciones con tendencia alcista, la rentabilidad anual media activa es mucho menor que la pasiva. Además, las rentabilidades activas del primer tramo para los tres tipos de tendencia son mucho mayores que las del segundo tramo. Con esto se concluye que los parámetros óptimos para el primer tramo no son los óptimos para el segundo tramo ya que no conseguimos resultados persistentes en el tiempo, los resultados empeoran.

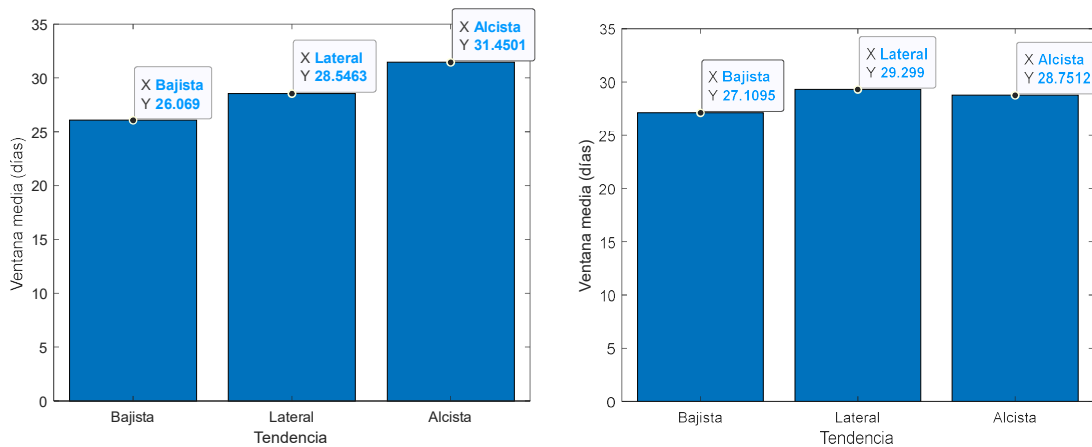


Figura 98: Ventana media según la tendencia en los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)

En la figura 98, se observa que en el primer tramo la ventana aumenta a medida que la tendencia es más alcista. En cambio, en el segundo tramo, no se cumple la misma regla, en los tres casos el número medio de operaciones es bastante parecido, siendo el máximo cuando la tendencia es lateral.

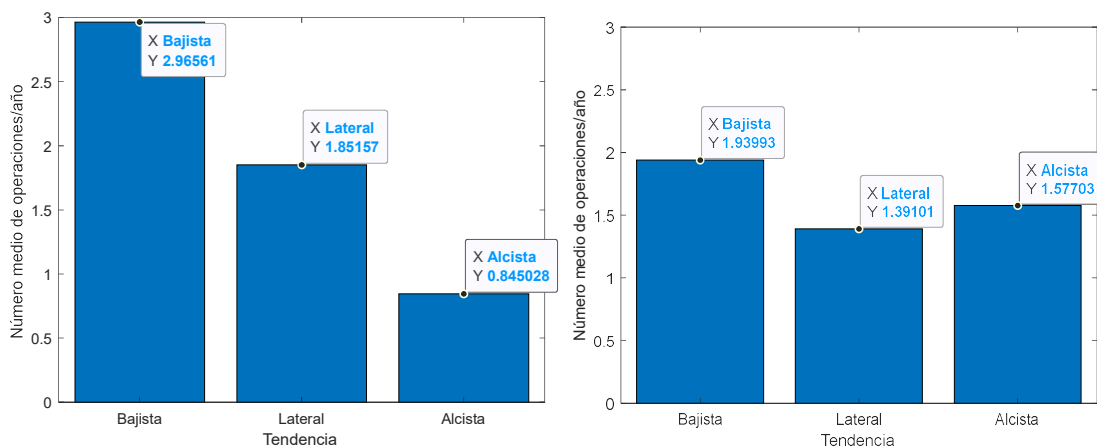


Figura 99: Número medio de operaciones/año según la tendencia en los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)

Respecto al número de operaciones medio al año, en la figura 99 se observa que en el primer tramo a medida que sube la tendencia baja se realizan menos operaciones. Sin embargo, a medida que se realizan menos operaciones no se obtiene una rentabilidad activa mayor ni al contrario, por lo que esto demuestra que en cada caso hay que llegar a un equilibrio entre número de operaciones y rentabilidad teniendo en cuenta las comisiones que se pagan al bróker.

En el segundo tramo, como se ve en la gráfica de la derecha, se realizan menos operaciones medias al año que en el primer año, y no sigue ninguna relación.

Respecto a la persistencia en el tiempo del caso de optimización de parámetros individuales, no se llegan a buenos resultados. Se ve claramente que los resultados óptimos para el primer tramo no son óptimos para el segundo tramo, por lo que habría que optimizar los 9 años para conseguir mejores resultados en el segundo tramo.

– Entre variables continuas y continuas:

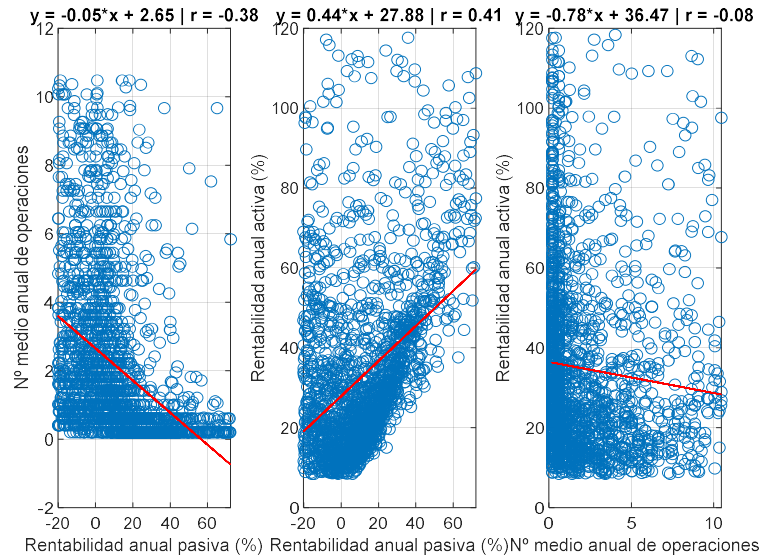


Figura 100: Correlación entre las variables continuas (número de operaciones al año y rentabilidad anual activa y pasiva) de los primeros 5 años

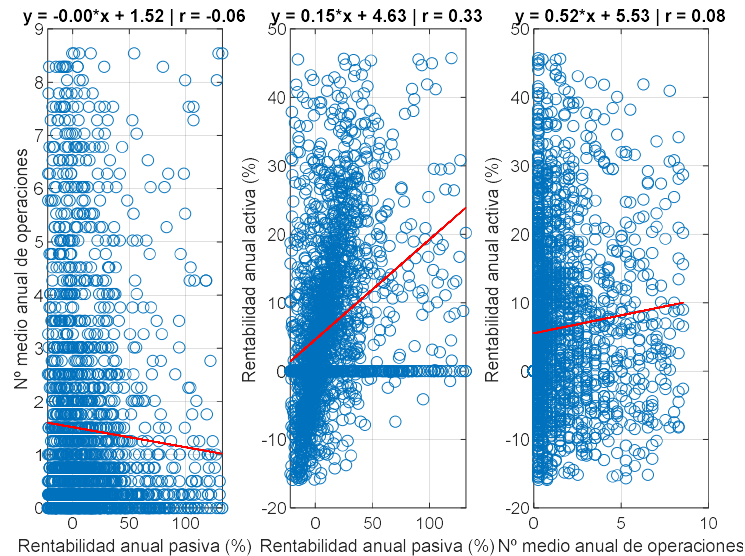


Figura 101: Correlación entre las variables continuas (número de operaciones al año y rentabilidad anual activa y pasiva) de los últimos 4 años

En la figura 100 se observa como baja el número de operaciones a medida que sube la rentabilidad anual pasiva con un factor de correlación de -0,38. Por el contrario, la rentabilidad anual activa sube cuando la pasiva sube con un factor de correlación de 0,41. Ambos factores son aceptables. Por último, la rentabilidad anual activa baja cuando sube el

número medio anual de operaciones, pero el coeficiente de correlación es mucho peor, de -0,08, por lo que esta conclusión no es tan fuerte.

En la figura 101, de los siguientes 4 años, se ha comprobado si se mantienen las mismas tendencias que en los primeros cinco años. En este caso también baja el número de operaciones a medida que sube la rentabilidad anual pasiva, pero con un factor de correlación mucho más bajo, de -0,06, por lo que esta conclusión tiene menos fuerza que la de los primeros años. La rentabilidad anual activa también sube cuando la pasiva sube, pero con un factor de correlación un poco más bajo, pero aun así aceptable, de 0,33. Por último, al contrario que en los primeros años, la rentabilidad anual activa sube cuando sube el número medio anual de operaciones, con un coeficiente de correlación de 0,08.

– **Entre variables continuas y discretas definidas por texto:**

▪ **Por mercado:**

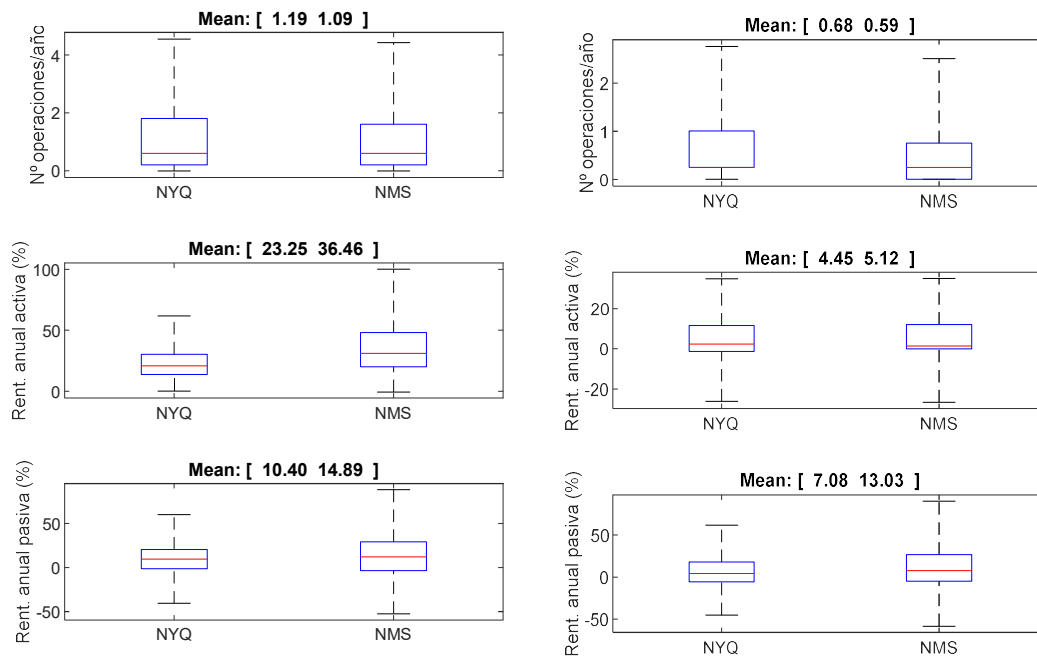


Figura 102: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (mercados) de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)

En los primeros años el número de operaciones medio al año era de aproximadamente uno en ambos mercados. Además, la rentabilidad anual activa es superior a la pasiva ganando el Nasdaq. En cambio, en los siguientes 4 años baja el número medio de operaciones en 0,5 aproximadamente y la rentabilidad activa en este caso es menor que la pasiva, también ganando el Nasdaq. Por lo tanto, se concluye que en los primeros años es bueno usar la estrategia mientras que en los últimos es mejor usar el método pasivo de buy and hold. En este caso no se mantienen las medias de los primeros 5 años en los siguientes 4 años.

■ **Por sectores:**

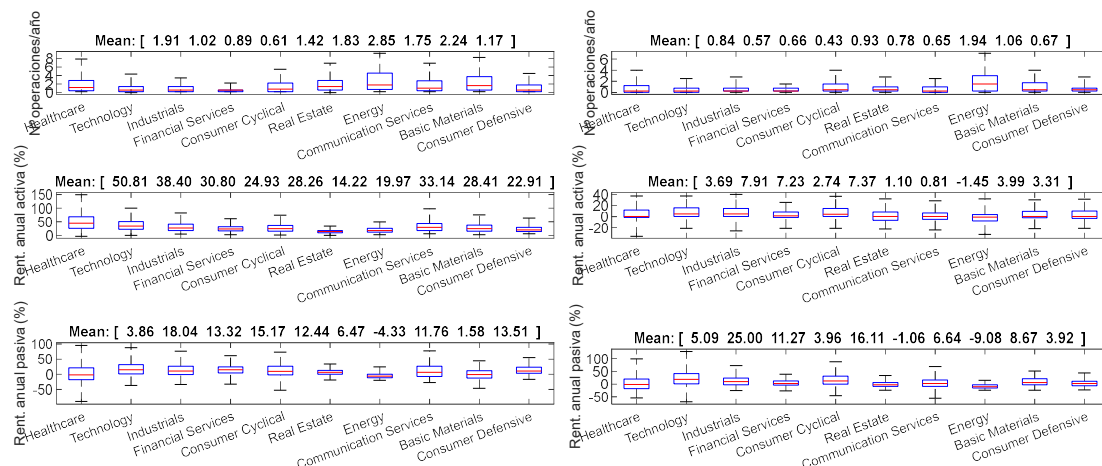


Figura 103: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores) de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)

Como se muestra en la figura 103, en los primeros años el número de operaciones medio al año de cada sector es entre 0,61 y 2,85, un poco mayor que en los siguientes 4 años. Respecto a la rentabilidad activa, es mucho mayor en los primeros años, con medias entre 14,22% y 50,81% mientras que en los últimos años medias entre -1,45% y 7,91%. Por último, respecto a la rentabilidad pasiva, no hay cambios generales, algunos sectores la tienen mayor, menor o igual en el segundo tramo que en el primero, por lo tanto, no se llega a ninguna conclusión general, depende de cada sector.

■ **Por industrias:**

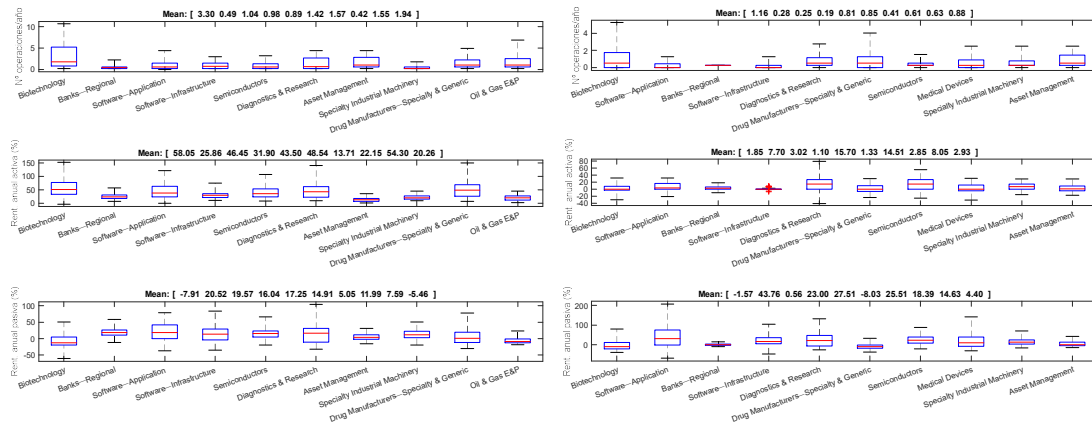


Figura 104: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (industrias) de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)

Como se muestra en la figura 104, en los primeros años el número de operaciones medio al año de cada industria es entre 0,42 y 3,3, un poco mayor que en los siguientes 4 años. Respecto a la rentabilidad activa, es mucho mayor en los primeros años, teniendo unas medias entre 20,26% y 58,05% los primeros años y 1,1% y 15,7% los últimos años. Por último, respecto a la rentabilidad pasiva, no hay cambios generales, algunos sectores la tienen mayor, menor o igual en el segundo tramo que en el primero, por lo tanto, no se llega a ninguna conclusión general, depende de cada industria.

– Entre variables continuas y discretas (centro y diferencia de umbrales):

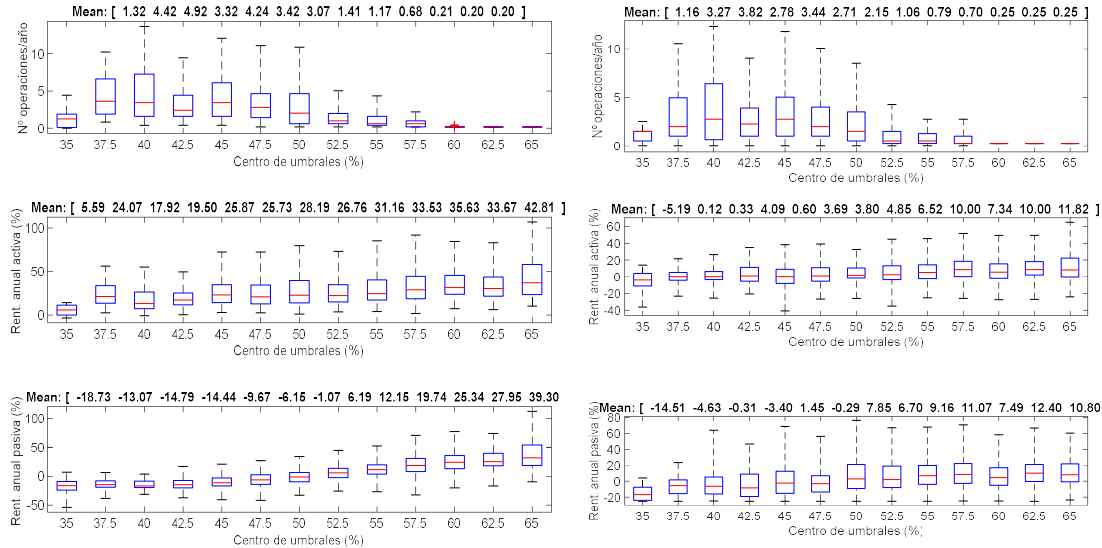


Figura 105: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y los centros de umbrales de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)

En la figura 105 se ve la media del número de operaciones, rentabilidad activa y pasiva según el centro de umbrales que va de 35% a 65%. Se aprecia en las figuras que el número de operaciones es menor en los extremos y es muy parecido en ambos tramos mientras que la rentabilidad activa y pasiva sube a medida que aumenta el centro de umbrales y además es bastante mayor en el primer tramo que en el segundo.

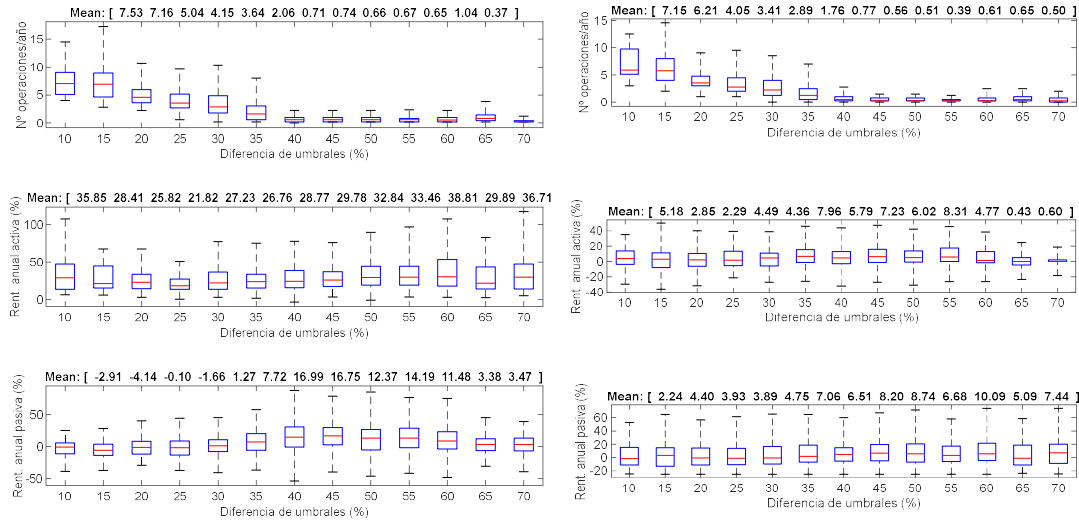


Figura 106: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y las diferencias de umbrales de los primeros 5 años (izquierda) y de los siguientes 4 (derecha)

En la figura 106 se ve la media del número de operaciones, rentabilidad activa y pasiva según la diferencia de umbrales que va de 10% a 70%. Se aprecia en las figuras que el número de operaciones va disminuyendo a medida que la diferencia de umbrales aumenta y es parecida en ambos tramos mientras que la rentabilidad activa y pasiva no define ninguna secuencia concreta, pero también refleja que las rentabilidades son bastante mayor en el primer tramo que en el segundo.

– Entre variables continuas y ellas mismas discretizadas:

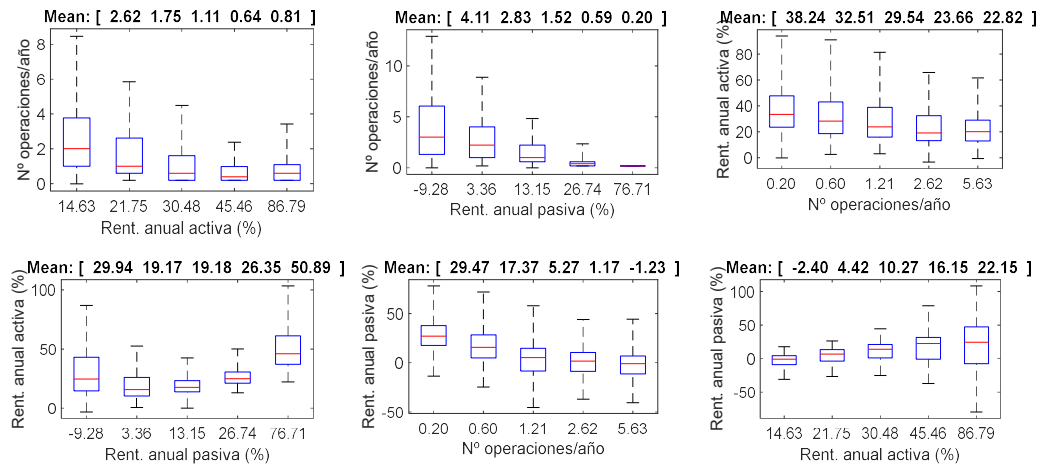


Figura 107: Relación entre variables continuas y continuas discretizadas de los primeros 5 años

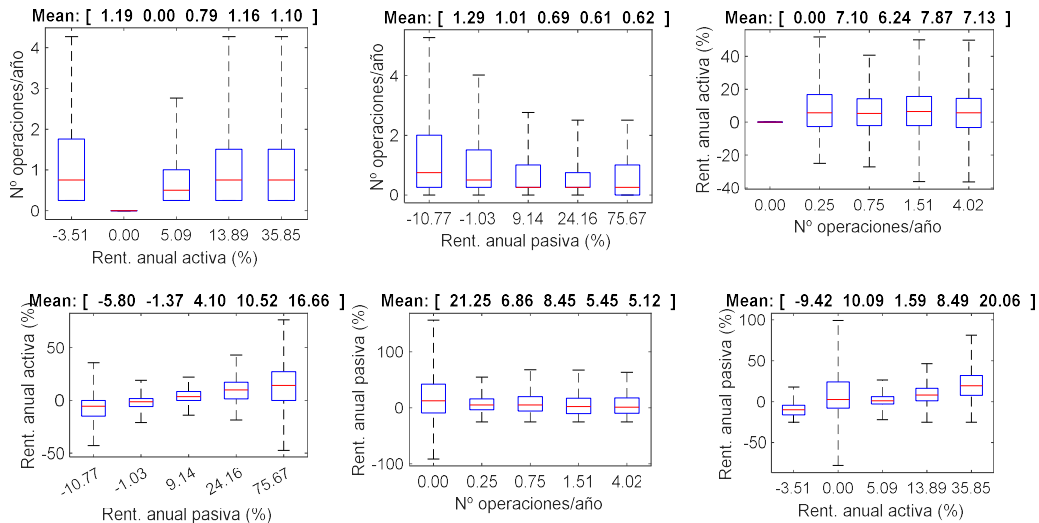


Figura 108: Relación entre variables continuas y continuas discretizadas de los últimos 4 años

Como se muestra en las figuras 107 y 108, en los primeros años el número de operaciones medio al año es entre 0,2 y 4,11, mayor que en los siguientes 4 años que tienen una media entre 0 y 1,29. Respecto a la rentabilidad activa, las rentabilidades son mucho mayores en el primer tramo que en el segundo. Por último, respecto a la rentabilidad pasiva, las

rentabilidades son un poco mayor en el primer tramo que en el segundo, pero no habiendo tanta diferencia como hay en las activas.

4.5 CONCLUSIONES

Para concluir, se han resumido los resultados de este capítulo en las tablas 23, 24 y 25.

	Optimización de cada valor usando parámetros	
	comunes	individuales
Parámetros	14 - 45%/85%	predomina: 14 - 45%/85%
Reinversión	✓	✓
Sentido de cruces	↘ ↗	↗ ↘

Tabla 23: Decisión de parámetros, método de reinversión y sentido de cruces de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales

En la tabla 23 se puede ver como para ambos casos de uso de parámetros comunes o individuales de cada valor es mejor la estrategia reinvertiendo beneficios. Sin embargo, el sentido de cruces usando parámetros comunes es mejor descendiente y ascendente mientras que en uso de parámetros individuales es mejor el caso estándar de descendente y ascendente. Además, comparando el resultado de los parámetros con lo que dice la literatura, se observa que la ventana de 14 es la mejor, como decía Welles Wilder, mientras que los umbrales que se han obtenido son ambos un poco superiores, de 45%-85% en vez de 30%-70%.

	Optimización de cada valor usando parámetros	
	comunes	individuales
Tendencia bajista (medias)		
Rent. pasiva (%)	-4.53	-4.21
Rent. activa (%)	-2.85	34.37
Ventana	14	20.02
Nº operaciones	2.59	5.22
Tendencia lateral (medias)		
Rent. pasiva (%)	9.49	10.29
Rent. activa (%)	10.07	36.62
Ventana	14	17.34
Nº operaciones	2.89	4.89
Tendencia alcista (medias)		
Rent. pasiva (%)	42.46	45.16
Rent. activa (%)	36.08	63.05
Ventana	14	14.72
Nº operaciones	3.13	4.60

Tabla 24: Resumen de resultados medios de rentabilidad pasiva y activa, ventana y número de operaciones según la tendencia (bajista, lateral o alcista) de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales

En la tabla 24 se puede ver que comparando ambos casos de uso de parámetros comunes e individuales es mejor la estrategia utilizando parámetros individuales. En los tres tipos de tendencias se consigue una rentabilidad activa mayor en el caso de parámetros individuales. Además, se puede apreciar que en el caso de parámetros individuales de media se usa una ventana mayor de 14 y el número de operaciones medio anual es también mayor. Se puede observar que las rentabilidades pasivas no son exactamente las mismas, pero casi iguales, esto es debido a que al quitar los outliers de la matriz también dependía de los outliers de la rentabilidad activa y no solo de la pasiva.

	Optimización de cada valor usando parámetros	
	comunes	individuales
Mercado (medias NYQ / NMS)		
Nº operaciones	2.94 / 2.97	4.65 / 4.51
Rent. activa (%)	9.88 / 16.95	30.42 / 55.68
Rent. pasiva (%)	10.37 / 18.11	10.37 / 18.11
Sector (medias máx / min)		
Nº operaciones	2.36 / 3.21	3.86 / 5.22
Rent. activa (%)	-6.24 / 31.71	17.34 / 70.69
Rent. pasiva (%)	-6.14 / 31.16	-6.14 / 31.16
Industria (medias máx / min)		
Nº operaciones	2.44 / 3.32	3.43 / 7.16
Rent. activa (%)	-5.13 / 44.90	22.10 / 80.52
Rent. pasiva (%)	-3.65 / 44.88	-3.65 / 44.88
Centro de umbrales (medias máx / min)		
Nº operaciones	-	3.79 / 6.41
Rent. activa (%)	-	17.96 / 56.33
Rent. pasiva (%)	-	-8.34 / 43.17
Diferencia de umbrales (medias máx / min)		
Nº operaciones	-	2.71 / 10.58
Rent. activa (%)	-	24.30 / 49.61
Rent. pasiva (%)	-	-2.52 / 25.12

Tabla 25: Resumen de resultados de número de operaciones, rentabilidad activa y pasiva de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales

En la tabla 25 se aprecia como en ambos casos (parámetros comunes e individuales) se obtienen mayor rentabilidad en el Nasdaq que en el NYSE. Respecto a los resultados analizando los sectores e industrias, es mayor el número de operaciones y las rentabilidades cuando se usan parámetros individuales. Por último. Se ve un breve resumen del número de operaciones y rentabilidades cuando se analiza el centro y la diferencia de umbrales para el caso de parámetros individuales, ya que el caso de parámetros comunes el centro y la diferencia de umbrales es siempre el mismo por lo que el número de operaciones y las rentabilidades serán la media de todos los valores.

Optimización de cada valor usando parámetros				
	comunes		individuales	
	primeros 5 años	últimos 4 años	primeros 5 años	últimos 4 años
Tendencia bajista (medias)				
Rent. pasiva (%)	-6.36	-8.79	-5.48	-8.55
Rent. activa (%)	11.35	1.38	27.93	-0.06
Ventana	14	14	26.07	27.11
Nº operaciones	2.68	2.59	2.97	1.94
Tendencia lateral (medias)				
Rent. pasiva (%)	8.94	6.75	11.63	6.43
Rent. activa (%)	10.27	9.86	24.83	6.78
Ventana	14	14	28.55	29.30
Nº operaciones	2.85	2.67	1.85	1.39
Tendencia alcista (medias)				
Rent. pasiva (%)	30.42	39.97	33.03	34.98
Rent. activa (%)	14.21	24.07	42.72	14.97
Ventana	14	14	31.45	28.75
Nº operaciones	2.97	3.01	0.85	1.58

Tabla 26: Resumen de resultados medios de rentabilidad pasiva y activa, ventana y número de operaciones según la tendencia (bajista, lateral o alcista) de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales y distinguiendo los primeros 5 años de los últimos 4 años

En la tabla 26 se puede ver un resumen de la persistencia en el tiempo para ambos casos de uso de parámetros comunes o individuales de cada valor. En el caso común se observa que con tendencia bajista los resultados no se mantienen en el tiempo, con tendencia lateral sí, y con tendencia alcista mejoran. En este caso, de media de todas las acciones se puede decir que los resultados persisten en el tiempo. Sin embargo, en el caso de parámetros individuales, los resultados son mucho peores en los últimos 4 años, los resultados no se mantienen en el tiempo, por lo que se concluye que esos no son los parámetros óptimos para el segundo tramo, habría que optimizar los 9 años y no solo los primeros 5 años.

Optimización de cada valor usando parámetros				
	comunes		individuales	
	primeros 5 años	últimos 4 años	primeros 5 años	últimos 4 años
% de rent. pasiva mayor %				
Rent. activa mayor en el primer tramo (%)	50.57	49.43	55.25	44.75
Rent. activa mayor en el segundo tramo (%)	68.23	31.52	96.01	77.81
Rent. pasiva mayor en el segundo tramo (%)	31.77	68.48	3.99	22.19
Mercado (medias NYQ / NMS)				
Nº operaciones	2.88 / 2.95	2.81 / 2.83	1.09 / 1.09	0.68 / 0.59
Rent. activa (%)	9.26 / 15.67	8.41 / 14.54	23.25 / 36.46	4.45 / 5.12
Rent. pasiva (%)	9.78 / 13.83	7.09 / 13.04	10.40 / 14.89	7.08 / 13.03
Sector (medias máx / min)				
Nº operaciones	2.42 / 3.04	2.45 / 3.16	0.61 / 2.85	0.43 / 1.94
Rent. activa (%)	-2.95 / 24.04	-3.27 / 17.82	14.22 / 50.81	-1.45 / 7.91
Rent. pasiva (%)	-4.43 / 14.71	-9.09 / 25.02	-4.33 / 18.04	-9.08 / 25.00
Industria (medias máx / min)				
Nº operaciones	2.36 / 3.46	2.40 / 3.50	0.42 / 3.30	0.19 / 1.16
Rent. activa (%)	-2.40 / 26.17	-1.17 / 28.60	13.71 / 58.05	1.10 / 15.70
Rent. pasiva (%)	-8.04 / 43.79	-5.63 / 18.68	-7.91 / 20.52	-8.03 / 43.76
Centro de umbrales (medias máx / min)				
Nº operaciones	-	-	0.20 / 4.92	0.25 / 3.82
Rent. activa (%)	-	-	5.59 / 42.81	-5.19 / 11.82
Rent. pasiva (%)	-	-	-18.73 / 39.30	-14.51 / 12.40
Diferencia de umbrales (medias máx / min)				
Nº operaciones	-	-	0.37 / 7.53	0.39 / 7.15
Rent. activa (%)	-	-	21.82 / 38.81	0.43 / 8.31
Rent. pasiva (%)	-	-	-4.14 / 16.99	2.24 / 10.09

Tabla 27: Resumen de resultados de número de operaciones, rentabilidad activa y pasiva de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales y distinguiendo los primeros 5 años de los últimos 4 años

Finalmente, la tabla 27 resume los resultados comparando los 5 primeros años con los últimos 4 años usando la estrategia con parámetros comunes o individuales para cada valor.

En el caso de parámetros comunes parece que se mantiene bastante parecido el número de operaciones y las rentabilidades activas y pasivas entre ambos tramos. Esto confirma lo que dice las primeras líneas de las tablas respecto a las rentabilidades activas y pasivas de cada tramo siendo muy parecida la rentabilidad pasiva en ambos tramos (50.57% vs. 49.43%) y aunque haya mayor número de valores con rentabilidades activas en el primer tramo (68.23%) y de rentabilidades pasivas en el segundo tramo (68.48%) parece que los máximos y mínimos entre ambos tramos no se desvían demasiado.

En el caso de parámetros individuales se aprecia claramente que el número de operaciones y rentabilidad activa es mayor en el primer tramo que en el segundo con gran diferencia, mientras que la rentabilidad pasiva hay menos diferencia entre tramos. Esto confirma lo que dice las primeras líneas de las tablas respecto a las rentabilidades activas y pasivas de cada tramo habiendo claramente más valores con mayor rentabilidad activa en el primer tramo (96.01% y 77.81%) y siendo poco mayor los valores con rentabilidad pasiva del primer tramo (55.25% vs. 44.75%).

Capítulo 5. PREDICCIÓN DE EVOLUCIONES FUTURAS MEDIANTE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se ha combinado el uso del RSI con redes neuronales. Se ha realizado la optimización mediante redes neuronales con distintas entradas del RSI en la red como se ha explicado en el apartado 5.1.2. de este capítulo, para analizar si se consiguen mejores rentabilidades con esta estrategia en comparación con la estrategia estándar de optimización del RSI.

5.1.1 REDES NEURONALES

Como se ha explicado en el apartado 2.3 las redes neuronales son un conjunto de algoritmos diseñados para reconocer patrones que están inspiradas en los sistemas nerviosos biológicos. Tienen una capa de entrada, un determinado número de capas ocultas y una capa de salida, todas ellas interconectadas por nodos o neuronas a través de las que van pasando los datos desde que entran hasta que salen. Trata de dar respuestas similares a las que puede dar el cerebro (¿Qué es una red neuronal?, s.f.).

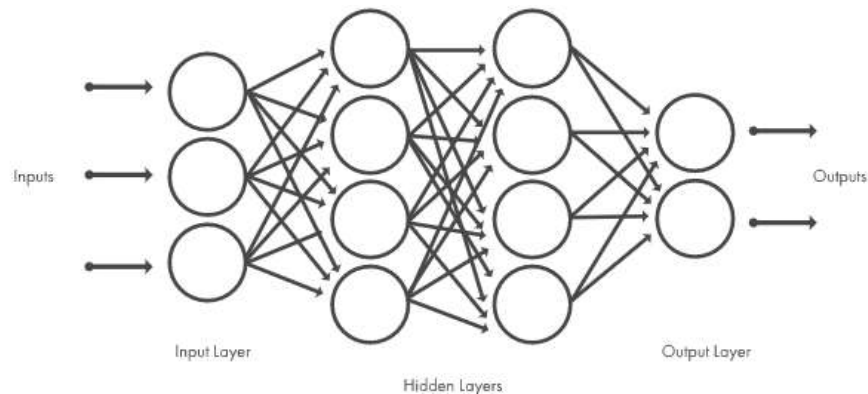


Figura 109: Estructura típica de una red neuronal (¿Qué es una red neuronal?, s.f.)

Su aplicación al trading no conseguirá un 100% de efectividad ya que los mercados dependen de las noticias macroeconómicas, geopolíticas y resultados empresariales que pueden hacer que el precio varíe de manera imprevista. No obstante, si la estrategia es buena, con el uso de aprendizaje automático con redes neuronales se podrá llegar a un resultado de alta eficiencia. Se aprenderá a decidir si es un escenario alcista o bajista para saber si comprar o vender, analizando al final de cada día si tuvo éxito en la decisión o no (Perez, 2019).

Esta técnica es la que se ha utilizado en este capítulo para analizar las mismas acciones de la bolsa americana durante 9 años que se han utilizado durante todo el estudio de este trabajo.

5.1.2 COMBINACIÓN DEL RSI Y REDES NEURONALES

Para este análisis se han optimizado 12 casos distintos y se ha analizado el mejor de ellos para después compararlo con la estrategia estándar de optimización del RSI.

La combinación del RSI con redes neuronales se ha realizado de dos maneras:

- 3 entradas de RSI: RSI9, RSI14 y RSI19 en un mismo instante
- 5 entradas del mismo RSI en 5 instantes distintos

Además, en cada caso se ha utilizado un horizonte de predicción de 5 o 10 días y una capa oculta con 5, 10 o 15 neuronas. Y para todos los casos se ha usado una ventana deslizante de 0.5 años, 100 interacciones iniciales y 5 interacciones incrementales. Con la combinación de todas estas variables se han optimizado los 12 casos que se muestran en la tabla 28.

CASO	Ventanas	Horizonte de predicción	Neuronas	Ventana deslizante (años)	Interacciones iniciales	Intersciones incrementales	Rentabilidad media anual B&H
1	(9 14 19)	5	5	0.5	100	5	18.99%
2	(9 14 19)	5	10	0.5	100	5	18.99%
3	(9 14 19)	5	15	0.5	100	5	18.99%
4	(9 14 19)	10	5	0.5	100	5	18.99%
5	(9 14 19)	10	10	0.5	100	5	18.99%
6	(9 14 19)	10	15	0.5	100	5	18.99%
7	14	5	5	0.5	100	5	18.99%
8	14	5	10	0.5	100	5	18.99%
9	14	5	15	0.5	100	5	18.99%
10	14	10	5	0.5	100	5	18.99%
11	14	10	10	0.5	100	5	18.99%
12	14	10	15	0.5	100	5	18.99%

Tabla 28: 12 casos de combinación del RSI y redes neuronales

La estructura que tiene la red neuronal según el tipo de entrada (tres RSIs en un instante o un RSI en 5 instantes) se observa en la figura 110 y 111.

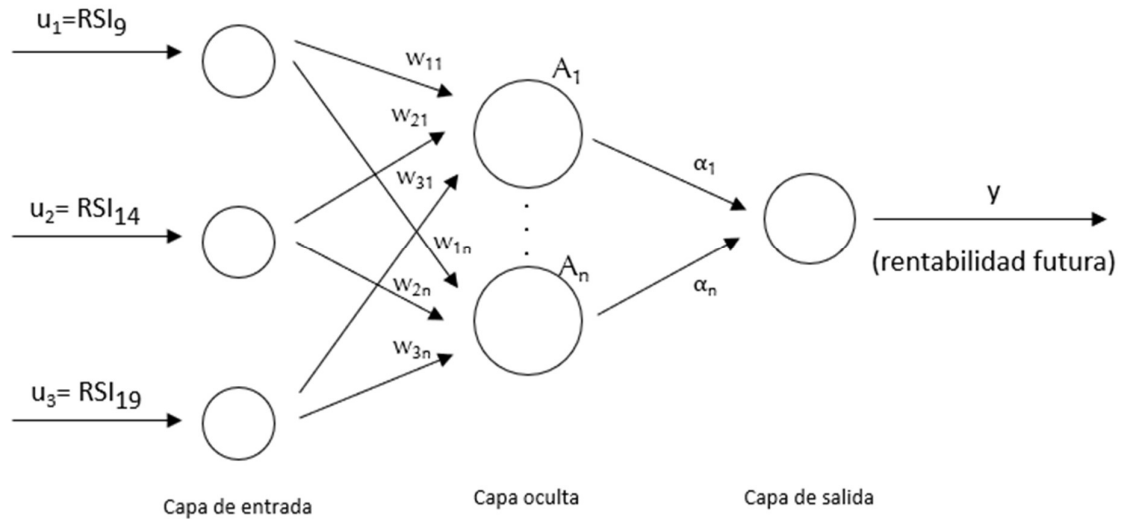


Figura 110: Estructura de la red neuronal con 3 entradas de distintos RSI en un mismo instante

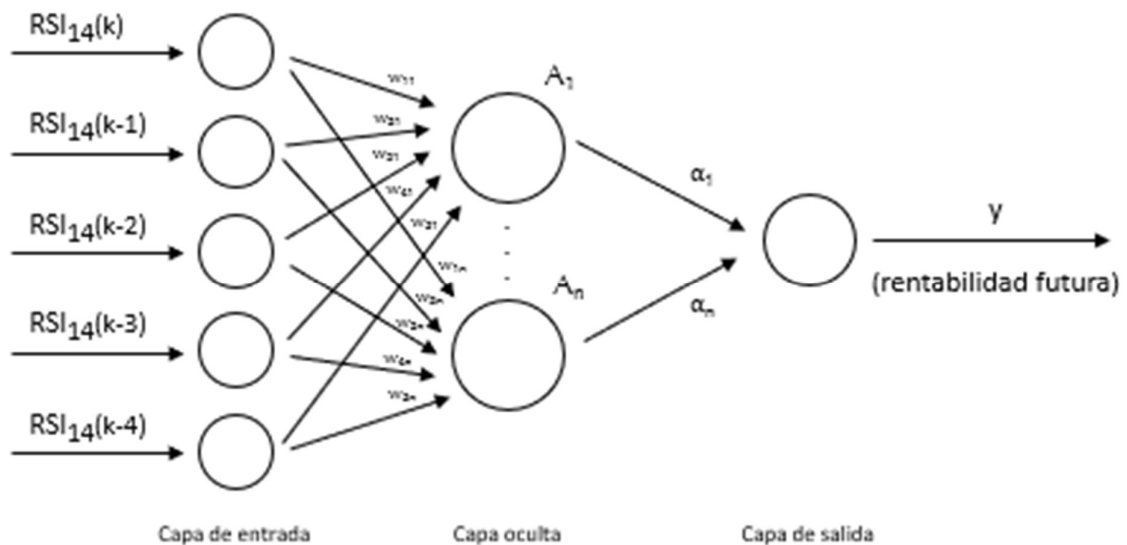


Figura 111: Estructura de la red neuronal con 5 entradas de RSI14 en 5 instantes distintos

Una vez obtenida la rentabilidad futura, es decir, la rentabilidad a 5 o 10 días, se utiliza el método que se muestra en la figura 112.

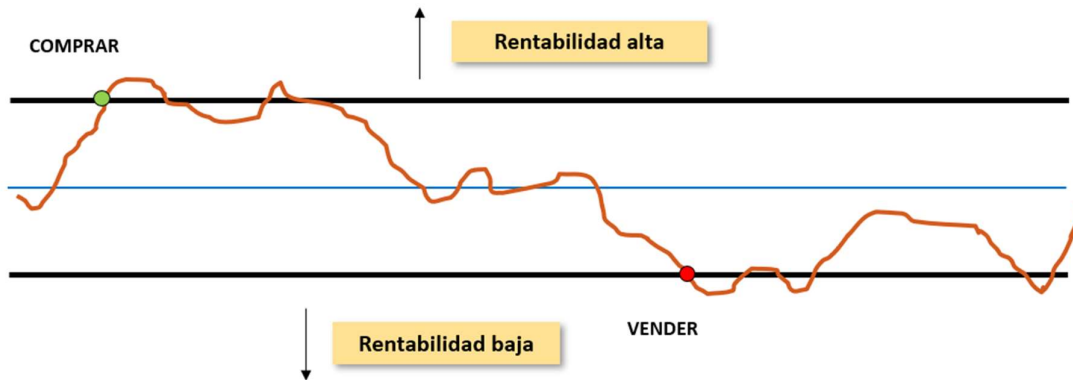


Figura 112: Método utilizado con la rentabilidad predicha a 5 o 10 días

La señal roja es la rentabilidad de cada día, predicha a 5 o 10 días, es la rentabilidad que se obtendría si se comprara hoy y se vendiese en 5 o 10 días. La intención es comprar hoy y predecir qué pasará con la rentabilidad en 5 o 10 días.

Este método se trata de comprar acciones cuando la rentabilidad predicha es alta y de vender acciones cuando la rentabilidad predicha es baja. La rentabilidad se considera alta cuando supera el umbral superior y baja cuando baja del umbral inferior. Estos umbrales se obtienen de la optimización que se realiza con las redes neuronales para cada caso según los datos determinados que se muestran en la tabla 28.

5.2 DISTINTOS CASOS DE OPTIMIZACIÓN

5.2.1 ANÁLISIS INICIAL SOBRE LA DECISIÓN DE LOS VALORES

Para decidir qué valores usar de los 12 casos explicados en el apartado 5.1.2 se han optimizado todos los casos con parámetros comunes para todas las acciones y se han obtenido los resultados de la tabla 29 y la gráfica 113.

CASO	Ventanas	Horizonte de predicción	Neuronas	Ventana deslizante (años)	Interacciones iniciales	Intersiciones incrementales	Rentabilidad media anual	Rentabilidad media anual B&H	Umbral de compra	Umbral de venta
1	(9 14 19)	5	5	0.5	100	5	7.77%	18.99%	0.50%	-0.50%
2	(9 14 19)	5	10	0.5	100	5	7.96%	18.99%	0.50%	-0.50%
3	(9 14 19)	5	15	0.5	100	5	7.27%	18.99%	0.50%	-0.50%
4	(9 14 19)	10	5	0.5	100	5	8.35%	18.99%	0.50%	-1.00%
5	(9 14 19)	10	10	0.5	100	5	9.98%	18.99%	0.50%	-1.25%
6	(9 14 19)	10	15	0.5	100	5	9.39%	18.99%	0.50%	-1.50%
7	14	5	5	0.5	100	5	13.29%	18.99%	0.50%	-1.75%
8	14	5	10	0.5	100	5	14.24%	18.99%	0.50%	-2.50%
9	14	5	15	0.5	100	5	11.99%	18.99%	0.50%	-2.50%
10	14	10	5	0.5	100	5	9.98%	18.99%	0.50%	-2.00%
11	14	10	10	0.5	100	5	12.20%	18.99%	0.50%	-2.50%
12	14	10	15	0.5	100	5	11.85%	18.99%	0.50%	-3.00%

Tabla 29: Datos de cada caso

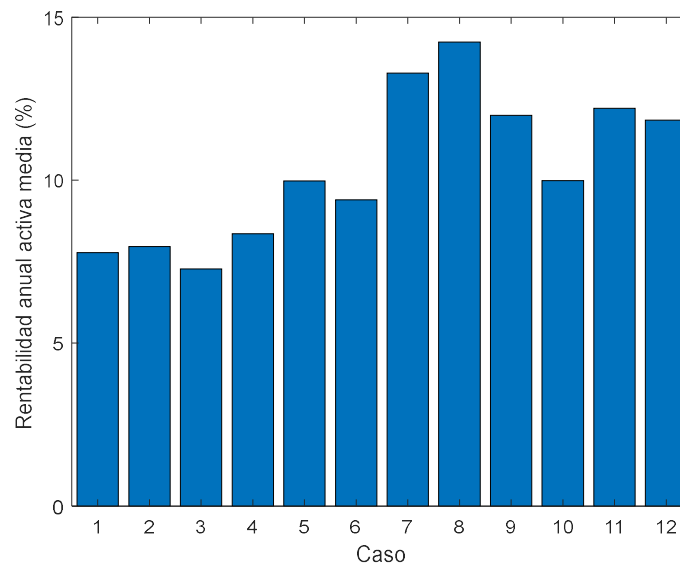


Figura 113: Rentabilidad anual activa media de cada caso

Con estos resultados se observa que en ningún caso la estrategia de optimización con redes neuronales y parámetros comunes supera la estrategia de buy & hold. Sin embargo, se ha optimizado el caso 8, ya que es el más óptimo, con parámetros individuales para cada acción.

Tras la optimización se han obtenido unos umbrales de compra de 0.5% y de venta de -2.5%. Con esto se ha conseguido una rentabilidad activa de 46,24%, mucho mejor que la pasiva de 18,99%.

Como se ve en la tabla 29 para el caso 8 que se ha analizado, se ha utilizado una red neuronal de 5 entradas de RSI14 en 5 instantes distintos, con un horizonte de predicción de 5 días y 10 neuronas en la capa oculta.

En los siguientes apartados 5.2.2. y 5.2.3. se han analizado los casos 8 con parámetros comunes y con parámetros individuales.

5.2.2 OPTIMIZACIÓN GLOBAL PARA TODOS LOS VALORES

5.2.2.1 *Análisis sobre la optimización en función de la tendencia (bajista, lateral o alcista)*

Se ha realizado un estudio según las tendencias de las acciones para determinar como varía la media de la rentabilidad anual activa, la ventana media y el número de operaciones medio al año.

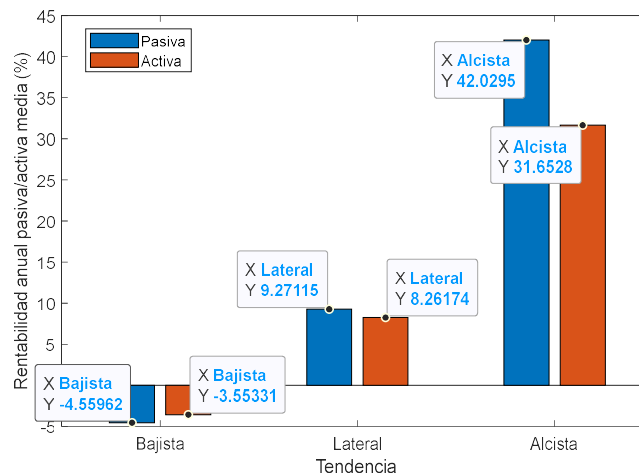


Figura 114: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia

En la figura 114, se observa que en el caso de acciones con tendencia bajista la rentabilidad activa media es mejor que la pasiva, por lo que se recomienda usar la estrategia de

optimización del RSI, mientras que en las acciones de tendencia lateral y alcista, la estrategia de buy & hold de media es mejor.

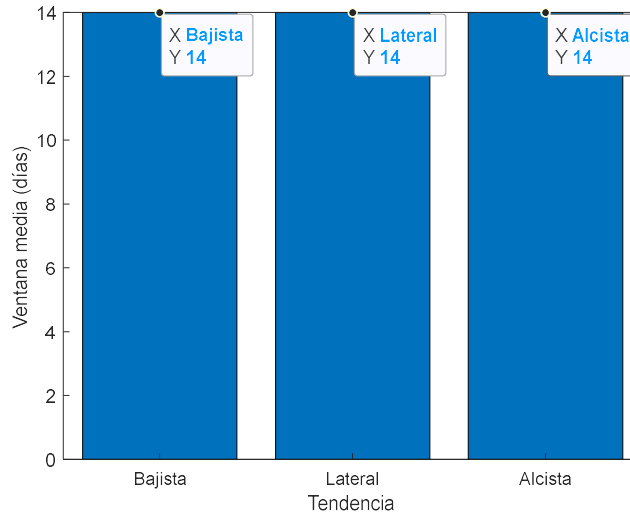


Figura 115: Ventana media según la tendencia

En la figura 115, se ve la media de las ventanas. En este caso al estar usando una matriz de parámetros globales para todas las acciones, la ventana siempre es 14.

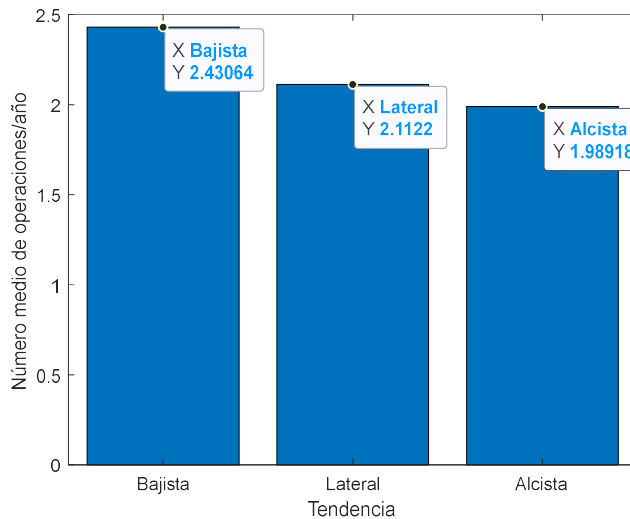


Figura 116: Número medio de operaciones/año

En la figura 116, se aprecia como disminuye el número medio de operaciones en función de la tendencia de las acciones. De media, cuanto más alcista es la tendencia, menos operaciones medias al año se realizan.

5.2.2.2 Análisis sobre la optimización en función del sector

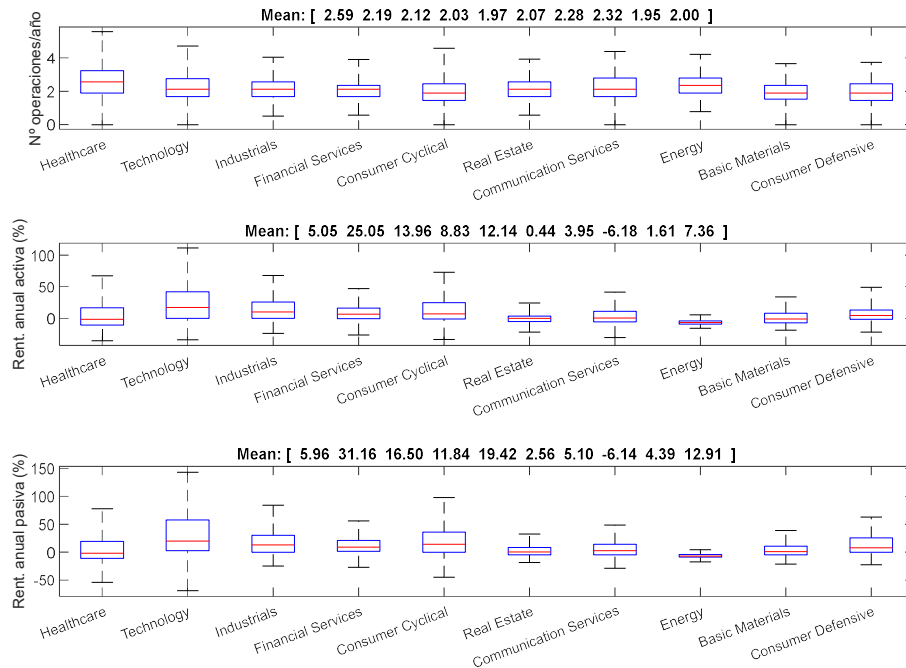


Figura 117: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores)

En la figura 117, en la primera gráfica se ve que el número de operaciones medio por año es bastante parecido en todos los sectores, varían entre 1,95 y 2,59, es decir que varían en media operación de compra o de venta de media al año aproximadamente. Las dispersiones confirman si las conclusiones sacadas son consistentes o no. En este caso las dispersiones son en todas medianamente parecidas y no muy altas, menos en el sector de salud, tecnología, consumo cíclico y servicios de comunicación que son un poco mayores.

En las dos siguientes gráficas se aprecia la rentabilidad activa y pasiva anual según el sector. La rentabilidad activa media anual va de -6,18% a 25,05% y la pasiva de -6,14% a 31,16%. Ambas la menor rentabilidad se da en el sector de energía y la más alta en el de tecnología. En este caso se observa que de media siempre el método pasivo es mejor que la estrategia. Por último, el sector de tecnología tiene mucha dispersión en la rentabilidad activa, por lo que varía mucho el resultado de la estrategia según el valor que se seleccione.

5.2.3 OPTIMIZACIÓN DE CADA VALOR DE FORMA INDIVIDUAL

5.2.3.1 Análisis sobre la optimización en función de la tendencia (bajista, lateral o alcista)

Se ha realizado un estudio según las tendencias de las acciones para determinar como varía la media de la rentabilidad anual activa, la ventana media y el número de operaciones medio al año.

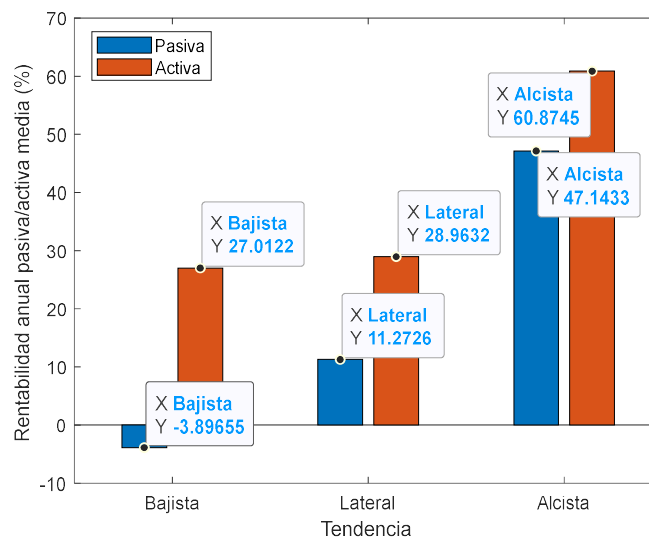


Figura 118: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia

En la figura 118, se observa que en los tres casos (tendencia bajista, lateral y alcista) la rentabilidad activa media es mejor que la pasiva, por lo que se recomienda usar la estrategia de optimización del RSI siempre frente al buy & hold.

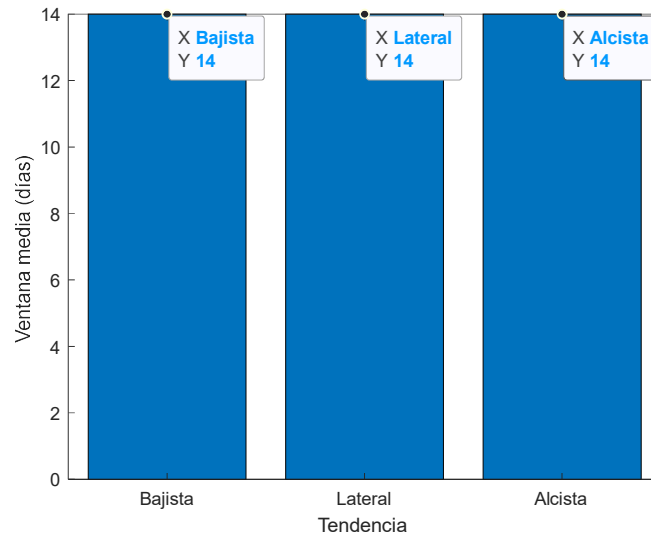


Figura 119: Ventana media según la tendencia

En la figura 119, se muestra que la media de las ventanas es 14. Aunque se ha analizado el caso de optimización usando parámetros individuales para todas las acciones, lo que han cambiado son los umbrales de compra y venta, manteniendo fija una ventana de 14.

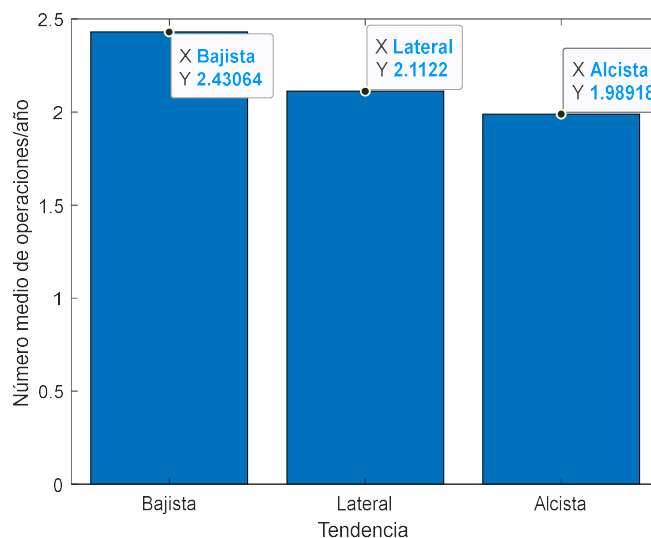


Figura 120: Número medio de operaciones/año según la tendencia

En la figura 120, se aprecia como disminuye el número medio de operaciones en función de la tendencia de las acciones. De media, cuanto más alcista es la tendencia, menos

operaciones medias al año se realizan, al contrario que en el caso de optimización con parámetros comunes.

A medida que la tendencia es más alcista, de media se utilizan ventanas menores y se realizan menos operaciones anuales medias al año. En este caso, al realizar menos operaciones, se paga menos comisiones a los brokers y se pierde menos rentabilidad.

5.2.3.2 Análisis sobre la optimización en función del sector

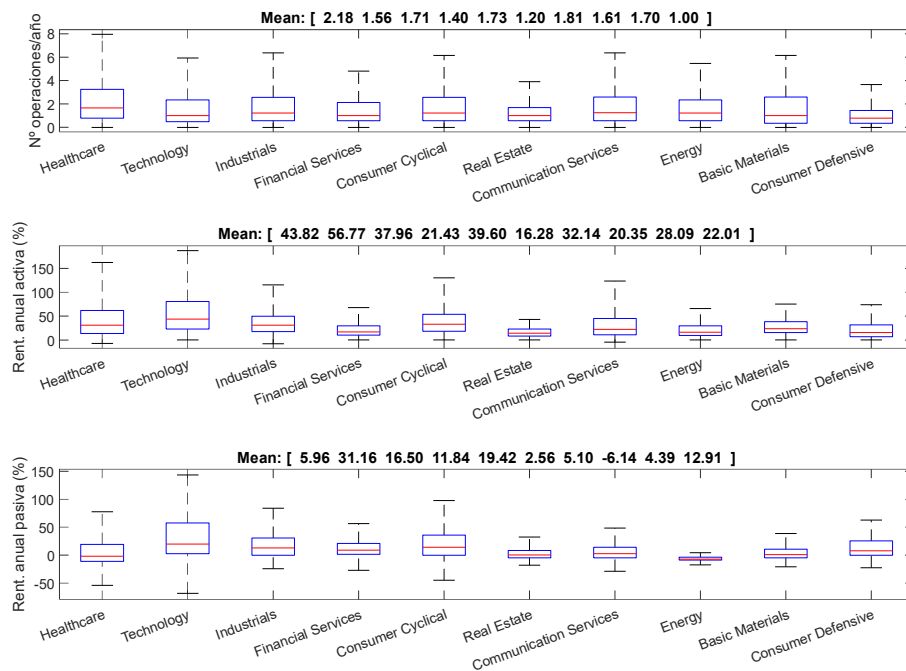


Figura 121: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores)

En la figura 121, en la primera gráfica se ve que el número de operaciones medio por año es bastante parecido en todos los sectores, varían entre 2,18 y 1,00, es decir que varían en una operación de compra o de venta de media al año aproximadamente. Las dispersiones confirman si las conclusiones sacadas son consistentes o no. En este caso las dispersiones hay bastante dispersión destacando el sector de salud, industrial, consumo cíclico, servicios de comunicación y materiales básicos.

En las dos siguientes gráficas se aprecia la rentabilidad activa y pasiva anual según el sector. La rentabilidad activa media anual va de 16,28% a 56,77% y la pasiva de -6,14% a 31,16%. La menor rentabilidad activa se da en el sector inmobiliario y la pasiva en el de energía y la más alta para ambas en el sector de tecnología. En este caso se observa que de media siempre la estrategia de optimizar el RSI es mejor que el método de buy & hold. Por último, el sector de tecnología tiene mucha dispersión en la rentabilidad activa, por lo que varía mucho el resultado de la estrategia según el valor que se seleccione.

5.3 CONCLUSIONES

Para concluir, se han resumido los resultados de este capítulo en las tablas 30 y 31.

	Optimización de cada valor usando parámetros	
	comunes	individuales
Tendencia bajista (medias)		
Rent. pasiva (%)	-4.56	-3.90
Rent. activa (%)	-3.55	27.01
Ventana	14	14
Nº operaciones	2.43	2.43
Tendencia lateral (medias)		
Rent. pasiva (%)	9.27	11.27
Rent. activa (%)	8.26	28.96
Ventana	14	14
Nº operaciones	2.11	2.11
Tendencia alcista (medias)		
Rent. pasiva (%)	42.03	47.14
Rent. activa (%)	31.65	60.87
Ventana	14	14
Nº operaciones	1.99	1.99

Tabla 30: Resumen de resultados medios de rentabilidad pasiva y activa, ventana y número de operaciones según la tendencia (bajista, lateral o alcista) de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales

En la tabla 30 se puede ver que comparando ambos casos de uso de parámetros comunes e individuales es mejor la estrategia utilizando parámetros individuales. En los tres tipos de tendencias se consigue una rentabilidad activa mayor en el caso de parámetros individuales. Además, se puede observar que en el caso de parámetros individuales se ha mantenido una ventana de 14 y lo que se ha cambiado es el valor de los umbrales de compra y venta. En este caso, el número de operaciones sale el mismo para ambos casos. Por último, se puede observar que las rentabilidades pasivas no son exactamente las mismas, pero son parecidas,

esto es debido a que al quitar los outliers de la matriz también dependía de los outliers de la rentabilidad activa y no solo de la pasiva.

Sector (medias máx / min)	Optimización de cada valor usando parámetros	
	comunes	individuales
Nº operaciones	1.95 / 2.59	1.00 / 2.18
Rent. activa (%)	-6.18 / 25.05	16.28 / 56.77
Rent. pasiva (%)	-6.14 / 31.16	-6.14 / 31.16

Tabla 31: Resumen de resultados de número de operaciones, rentabilidad activa y pasiva de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales

En la tabla 31 se observa que analizando por sectores, también se consigue una rentabilidad activa mayor utilizando parámetros individuales y el número de operaciones medio al año es menor.

Capítulo 6. COMPARACIÓN DE ESTRATEGIAS

6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se ha comparado la estrategia estándar de optimización del RSI utilizando parámetros comunes e individuales para cada acción con la estrategia que usa redes neuronales también utilizando parámetros comunes e individuales para cada acción. Se quiere comprobar si tiene sentido utilizar redes neuronales, es decir, se quiere ver si se consigue una rentabilidad activa mejor. Para ello, en el apartado 6.2. y 6.3. se han utilizado las gráficas obtenidas en el capítulo 4 y 5.

6.2 DE FORMA GLOBAL

6.2.1 EN FUNCIÓN DE LA TENDENCIA (BAJISTA, LATERAL O ALCISTA)

La figura 122, 123 y 124 representa las distintas variables para el caso de optimización utilizando parámetros comunes para todas las acciones, para la estrategia de inversión estándar del RSI (las gráficas de la izquierda) y la estrategia de optimización combinando el RSI con redes neuronales (las gráficas de la derecha).

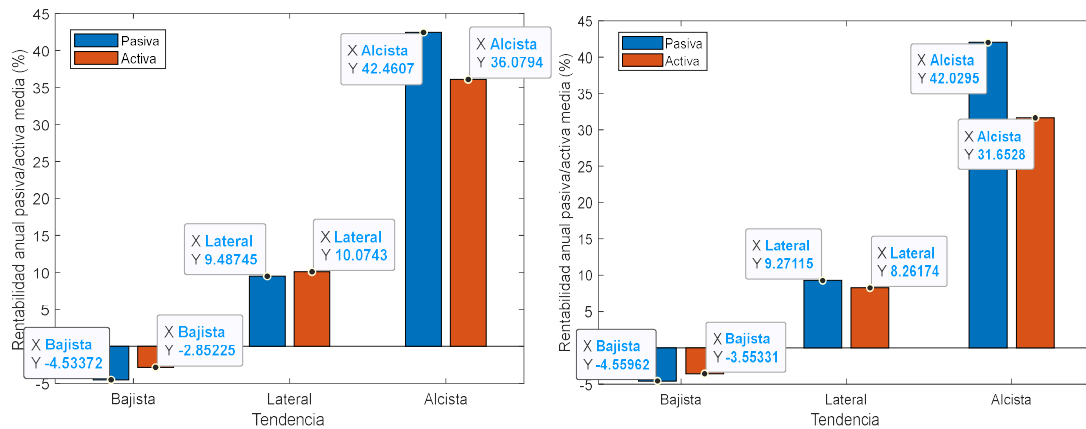


Figura 122: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)

En la figura 122 se observa que la estrategia de optimización estándar del RSI de media para todas las tendencias es un poco mejor que la estrategia de optimización que combina el RSI con redes neuronales. Las rentabilidades activas son -2.85% (bajista), 10.07% (lateral) y 36.08% (alcista) vs. -3.55%, 8.26% y 31.65%. Además, utilizando la estrategia estándar de optimización del RSI, con tendencia lateral la rentabilidad activa supera a la pasiva mientras que con la estrategia que combina RSI y redes neuronales es al contrario. No obstante, la mejora de una estrategia frente a otra es bastante pequeña, en general los resultados son muy parecidos.

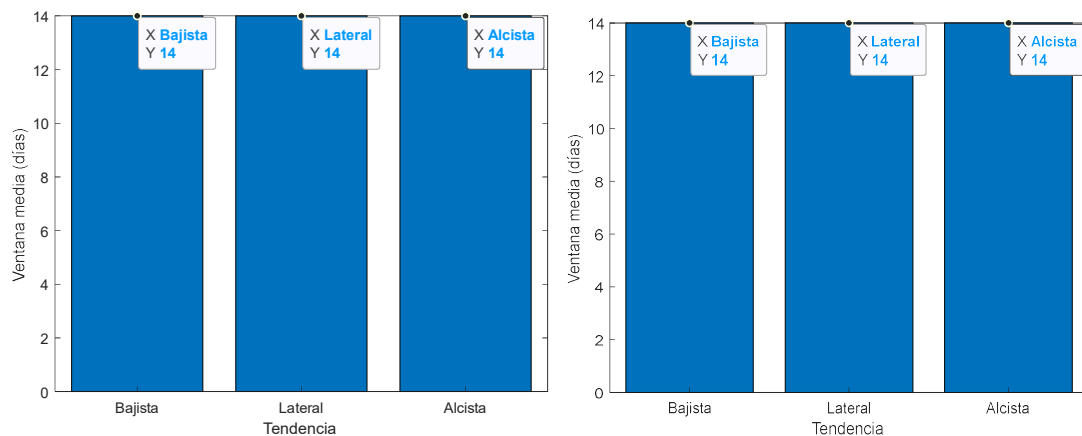


Figura 123: Ventana media según la tendencia optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)

En la gráfica 123 se observa que las ventanas son siempre 14 días, ya que para ambas estrategias se utilizan parámetros globales y según los estudios del capítulo 4 se estableció dicha ventana.

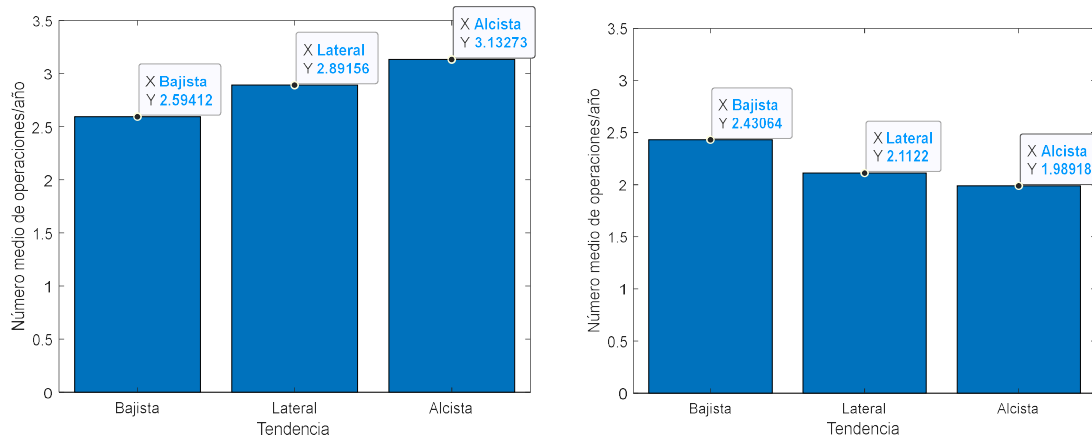


Figura 124: Número medio de operaciones/año optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)

En la figura 124 se observa que en la estrategia estándar de optimización del RSI el número medio de operaciones al año aumenta a medida que la tendencia es más alcista, mientras que en el caso de la estrategia que combina el RSI con redes neuronales es al contrario, a medida que la tendencia es más alcista el número de operaciones medio al año baja. Además, comparando ambas gráficas se ve que utilizando la estrategia estándar se realizan más operaciones de media al año (para todas las tendencias mayor que 2.5) que usando la estrategia de RSI con redes neuronales (para todas las tendencias menor que 2.5). No se llega a ninguna conclusión relacionando el número de operaciones con la rentabilidad activa y la tendencia, ya que comparando ambas estrategias pasan cosas contrarias.

6.2.2 EN FUNCIÓN DEL SECTOR

La figura 125 representa el número de operaciones medio al año, la rentabilidad activa media y la rentabilidad pasiva media de cada sector para el caso de optimización utilizando parámetros comunes para todas las acciones para la estrategia de inversión estándar del RSI

(la gráfica de la izquierda) y la estrategia de optimización combinando el RSI con redes neuronales (gráfica de la derecha).

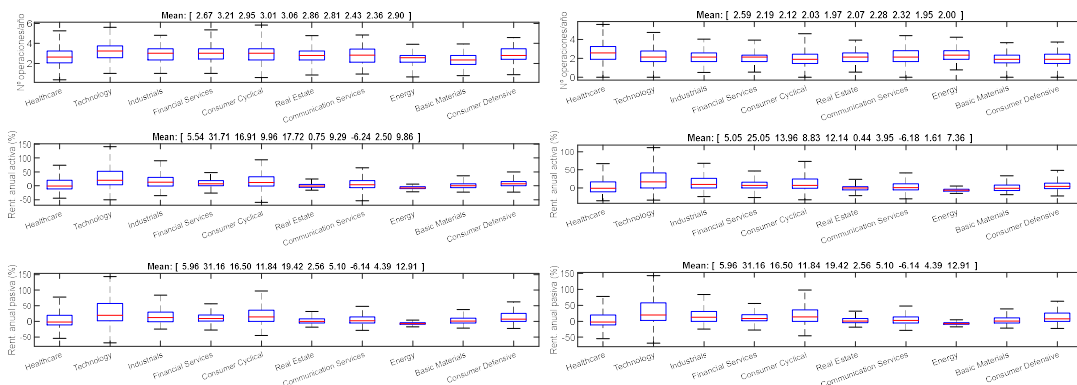


Figura 125: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores) optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)

Comparando ambas estrategias, se observa que se obtienen resultados muy parecidos, en el que el número de operaciones de media al año no varía en más de una operación y la rentabilidad activa con mayor diferencia se da en el sector de tecnología (31.71% vs. 25.05%). No obstante, se observa que utilizando la estrategia estándar se realizan más operaciones de media al año en todos los sectores y se consigue siempre una rentabilidad activa mayor salvo en el sector de energía que es prácticamente igual (-6.24% vs. -6.18%). El sector de tecnología para ambas estrategias en la rentabilidad activa tiene mucha dispersión por lo que las rentabilidades en este caso de una acción a otra pueden variar bastante.

Con este análisis se verifica lo que se ha dicho en el apartado 6.2.1.. La estrategia estándar es un poco mejor que la que utiliza redes neuronales aunque se obtienen resultados muy parecidos.

6.3 DE FORMA INDIVIDUAL

6.3.1 EN FUNCIÓN DE LA TENDENCIA (BAJISTA, LATERAL O ALCISTA)

La figura 126, 127 y 128 representa las distintas variables para el caso de optimización utilizando parámetros individuales para cada acción, para la estrategia de inversión estándar del RSI (las gráficas de la izquierda) y la estrategia de optimización combinando el RSI con redes neuronales (las gráficas de la derecha).

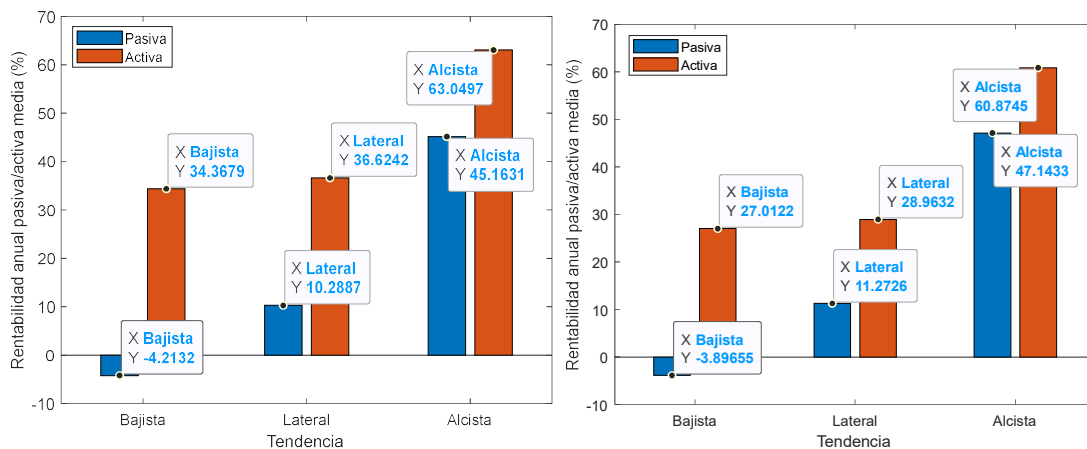


Figura 126: Rentabilidad anual pasiva/activa media según la tendencia optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)

En la figura 126 se observa que la estrategia de optimización estándar del RSI de media para todas las tendencias es mejor que la estrategia de optimización que combina el RSI con redes neuronales. Las rentabilidades activas son 34.37% (bajista), 36.62% (lateral) y 63.05% (alcista) vs. 27.01%, 28.96% y 60.87%. Además, utilizando las dos estrategias y para cualquier tendencia, la rentabilidad activa anual media es mayor que la pasiva. Con estos resultados se observa que tiene mejores resultados la estrategia estándar del RSI que la estrategia que combina redes neuronales con RSI.

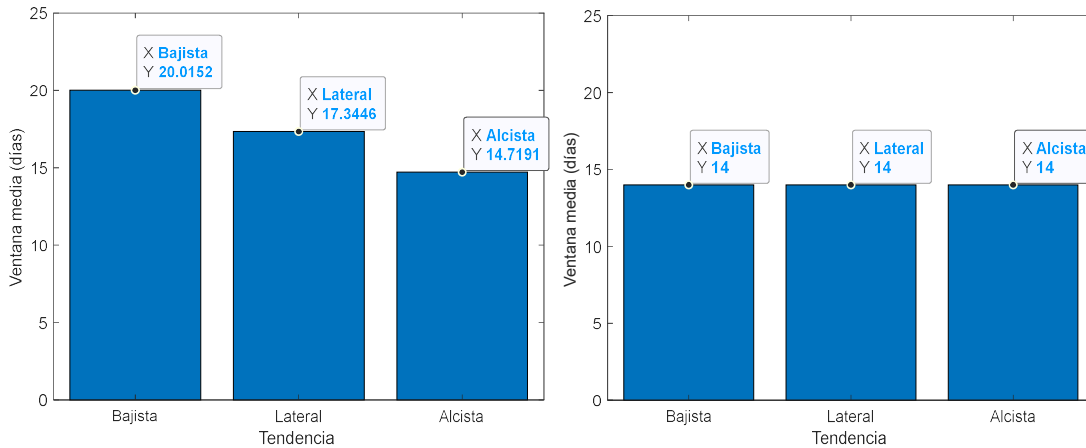


Figura 127: Ventana media según la tendencia optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)

En la gráfica 127 se observa que las ventanas para el caso de la estrategia estándar a medida que la tendencia es más alcista, el número de ventana media disminuye. En cambio, utilizando la estrategia con redes neuronales se ha mantenido siempre una ventana de 14 y el parámetro que ha cambiado es la combinación de umbrales.

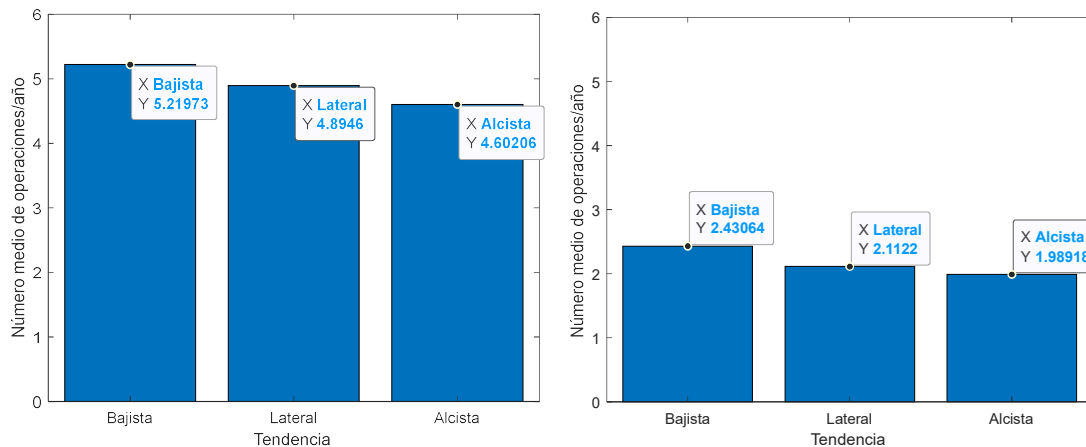


Figura 128: Número medio de operaciones/año según la optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)

En la figura 128 se observa que en ambas estrategias el número medio de operaciones al año disminuye a medida que la tendencia es más alcista. El aumento de la rentabilidad activa cuando disminuye el número de acciones puede estar influenciado porque se pagan menos comisiones a los brokers. Además, comparando ambas gráficas se ve que utilizando la

estrategia estándar se realizan más operaciones de media al año (para todas las tendencias mayor que 4.5) que usando la estrategia de RSI con redes neuronales (para todas las tendencias menor que 2.5).

6.3.2 EN FUNCIÓN DEL SECTOR

La figura 129 representa el número de operaciones medio al año, la rentabilidad activa media y la rentabilidad pasiva media de cada sector para el caso de optimización utilizando parámetros individuales para cada acción para la estrategia de inversión estándar del RSI (la gráfica de la izquierda) y la estrategia de optimización combinando el RSI con redes neuronales (gráfica de la derecha).

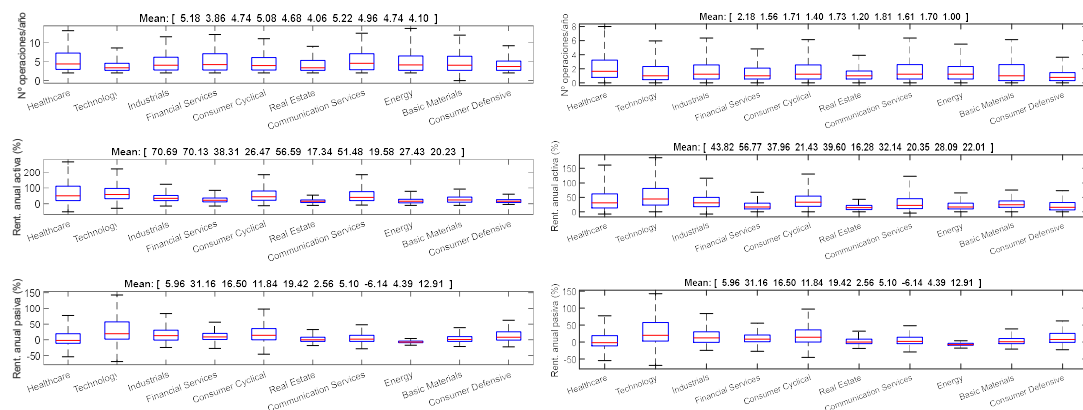


Figura 129: Relación entre variables continuas (número medio de operaciones, rentabilidad activa y pasiva) y discretas (sectores) optimizando el RSI (izquierda) y usando redes neuronales (derecha)

Comparando ambas estrategias, se observa que se obtienen mejores resultados utilizando la estrategia de optimización estándar del RSI. El número de operaciones de media al año es mayor usando la estrategia estándar (de 3.86 a 5.22) que usando la estrategia con redes neuronales (de 1.00 a 2.18). También, la rentabilidad activa es mayor en el caso estándar para todos los sectores menos para energía, materiales básicos y consumo defensivo que es muy parecida para ambas estrategias (19.58%, 27.43 y 20.23% vs. 20.35%, 28.09% y 22.01%). El sector de salud, tecnología, consumo cíclico y servicios de comunicación para ambas estrategias en la rentabilidad activa tiene mucha dispersión por lo que las rentabilidades en estos casos de una acción a otra pueden variar bastante.

Con este análisis se verifica lo que se ha dicho en el apartado 6.3.1.. Con la estrategia estándar se realizan más operaciones de media al año y se consigue una mayor rentabilidad activa que con la estrategia que utiliza redes neuronales.

6.4 CONCLUSIONES

Para concluir, se han resumido los resultados de este capítulo en las tablas 32 y 33.

Estrategia	Optimización de cada valor usando parámetros			
	comunes		individuales	
	RSI	RSI y RN	RSI	RSI y RN
Tendencia bajista (medias)				
Rent. pasiva (%)	-4.53	-4.56	-4.21	-3.90
Rent. activa (%)	-2.85	-3.55	34.37	27.01
Ventana	14	14	20.02	14
Nº operaciones	2.59	2.43	5.22	2.43
Tendencia lateral (medias)				
Rent. pasiva (%)	9.49	9.27	10.29	11.27
Rent. activa (%)	10.07	8.26	36.62	28.96
Ventana	14	14	17	14
Nº operaciones	2.89	2.11	4.89	2.11
Tendencia alcista (medias)				
Rent. pasiva (%)	42.46	42.03	45.16	47.14
Rent. activa (%)	36.08	31.65	63.05	60.87
Ventana	14	14	14.72	14
Nº operaciones	3.13	1.99	4.60	1.99

Tabla 32: Resumen de resultados medios de rentabilidad pasiva y activa, ventana y número de operaciones según la tendencia (bajista, lateral o alcista) de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales comparando la estrategia de optimización estándar del RSI con la que combina RSI y redes neuronales

En la tabla 32 se puede ver que comparando ambas estrategias es mejor la de optimización estándar del RSI. En los tres tipos de tendencias se consigue una rentabilidad activa mayor para la estrategia estándar y el número de operaciones medias al año es mayor.

Estrategia	Optimización de cada valor usando parámetros			
	comunes		individuales	
	RSI	RSI y RN	RSI	RSI y RN
Sector (medias máx / min)				
Nº operaciones	2.36 / 3.21	1.95 / 2.59	3.86 / 5.22	1.00 / 2.18
Rent. activa (%)	-6.24 / 31.71	-6.18 / 25.05	17.34 / 70.69	16.28 / 56.77
Rent. pasiva (%)	-6.14 / 31.16	-6.14 / 31.16	-6.14 / 31.16	-6.14 / 31.16

Tabla 33: Resumen de resultados de número de operaciones, rentabilidad activa y pasiva de la optimización de cada valor usando parámetros comunes o individuales comparando la estrategia de optimización estándar del RSI con la que combina RSI y redes neuronales

En la tabla 33 se observa que analizando por sectores, también se consigue una rentabilidad activa mayor utilizando la estrategia de optimización estándar del RSI y el número de operaciones medio al año es mayor.

En conclusión, se observa que la mejor estrategia para el conjunto de acciones analizadas siempre es la tradicional del RSI optimizada con parámetros individuales para cada acción.

Capítulo 7. APORTACIONES, CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

7.1 APORTACIONES

Tras analizar distintos estudios del pasado, se ha realizado un nuevo análisis. En este estudio se han utilizado 2604 acciones de la bolsa americana, en concreto del NYSE y del Nasdaq durante 9 años.

Por un lado, se ha explicado el funcionamiento del RSI con tres acciones, Abbott Laboratories de tendencia alcista, Coca-Cola de tendencia lateral y General Electric de tendencia bajista.

Por otro lado, se ha realizado un análisis de distintas estrategias del RSI, las cuales son:

- Estrategia tradicional de optimización del RSI: se han optimizado los parámetros de las acciones para conseguir una rentabilidad anual activa óptima y se ha hecho de dos maneras, optimizando los parámetros de manera global para todas las acciones o de manera individual para cada acción. Además, se han dividido los 9 años en dos tramos para analizar si los parámetros óptimos de los 5 primeros años persisten en el tiempo sin volverlos a optimizar.
- Estrategia de optimización del RSI con redes neuronales: en función de las ventanas, del horizonte de predicción, de las neuronas de las capas ocultas, de la ventana deslizante y de las interacciones iniciales e incrementales seleccionadas se optimizan los umbrales de compra y venta para conseguir una rentabilidad futura óptima. Las entradas a la red neuronal pueden ser tres entradas de RSIs distintos en un mismo instante o 5 entradas de un mismo RSI en instantes distintos y la salida es la rentabilidad predicha según el horizonte seleccionado, en estos casos a 5 o 10 días. Con dicha rentabilidad, se decide si comprar si supera el umbral de compra o vender si queda por debajo del umbral de venta. Esta estrategia se ha realizado también para

el caso de parámetros globales para todas las acciones o individuales para cada acción.

Ambos estudios se han analizado por separado según la tendencia bajista, lateral o alcista y según sus sectores. Esto no estaba hecho en los estudios que se han encontrado del pasado, se habían analizado acciones de distintos sectores pero no lo habían estudiado según la tendencia o el sector, ya que normalmente los estudios que se han encontrado son de pocas acciones, menos de 50, por lo que no tiene tanto sentido dividirlo en tramos, mientras que al analizar 2604 acciones en este trabajo, ha permitido sacar resultados más fiables según las tendencias y los sectores.

Por último, se han comparado ambas estrategias, la estrategia tradicional del RSI con la estrategia que combina el RSI con redes neuronales para ver con cual se obtienen mejores resultados.

7.2 CONCLUSIONES

Para finalizar el trabajo, se han llegado a distintas conclusiones a partir de los estudios de la literatura y el trabajo realizado en este estudio.

7.2.1 OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRATEGIA DEL RSI

Por un lado, respecto a la optimización del RSI, el estudio realizado por Marek y Sedivá en 2017, utilizando 16 acciones del mercado americano y comparando cuatro estrategias distintas (RSI tradicional, RSIOpt, Kelly y B&H) optimizando los parámetros de forma individual, se concluye que la mejor estrategia la mayoría de las veces es el B&H. Además, es lógico pagar comisiones por cada operación que hace el bróker, tanto en el estudio del 2017 como en este estudio se han tenido en cuenta.

Por otro lado, tras analizar los resultados obtenidos del estudio de Mahajan de 2015, de 30 acciones del mercado indio, en el que compara los resultados del RSI tradicional, del RSI optimizado y del B&H con parámetros individuales para cada acción, se obtiene que la mejor

estrategia es la del RSI optimizado, que la ventana media optimizada es de 12,26 y los umbrales medios optimizados de compra y venta son 32.53% y 78.2%.

Finalmente, con el análisis realizado en este trabajo optimizando los parámetros del RSI de forma global o individual de 2604 acciones del mercado americano, se determina que la mejor estrategia la mayoría de las veces es el caso del RSI optimizado con parámetros individuales para cada acción siendo para la mayoría de los casos ventana 14 y umbrales de compra y venta 45% y 85%.

Comparando estos tres estudios, se llega a la conclusión de que cuantas más acciones se analicen, más fiable será el trabajo, ya que se pueden quitar outliers y no se corre el riesgo a analizar pocas acciones de las cuales algunas pueden ser outliers y distorsionar los resultados. Además, comparando el resultado de los parámetros optimizados de estos estudios con lo que dice la literatura, se observa que la ventana de 14 de media es la mejor (o ventanas cercanas a 14), como decía Welles Wilder, mientras que los umbrales que se han obtenido suelen ser un poco superiores a 30%-70%.

Según el estudio de Mahajan y el de este trabajo, analizando de sin agrupar o agrupando por tendencias o por sectores, se determina que la mejor estrategia siempre es la optimización del RSI con parámetros individuales para cada acción.

También se ha analizado la persistencia en el tiempo. Se han dividido los 9 años en dos tramos y se han optimizado las acciones en los primeros 5 años para ver si se mantienen los parámetros óptimos en los últimos 4 años. Para este análisis con parámetros globales para todas las acciones, de media de todas las acciones se puede decir que los resultados persisten en el tiempo. Sin embargo, en el caso de parámetros individuales, los resultados son mucho peores en los últimos 4 años, los resultados no se mantienen en el tiempo, por lo que se concluye que esos no son los parámetros óptimos para el segundo tramo, habría que optimizar los 9 años y no solo los primeros 5 años.

7.2.2 OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRATEGIA DEL RSI Y REDES NEURONALES

Por un lado, en el estudio que realizaron Alejandro Rodríguez-González, Ángel García-Crespo, Ricardo Colomo-Palacios, Fernando Guldrís Iglesias y Juan Miguel Gómez-Berbís en 2011 de optimización de RSI y redes neuronales tomaron 9 días como periodo corto y 22 como periodo largo y utilizaron una sola capa oculta. Además, utilizan un modelo no lineal, dando distinto pesos a cada entrada para conseguir una salida. Para calcular el RSI óptimo utilizaron la función heurística sin memoria, utilizando solo el RSI del día anterior y del mismo día, sin guardar los RSIs anteriores, y con memoria, utilizando todos los RSIs desde un día que se toma de referencia. Para el estudio utilizaron 4061 datos del IBEX35 y utilizaron el llamado Testing Ok y M-testing Ok para elegir la mejor red neuronal, que fue de complejidad baja y 5 parámetros de entrada. Con esta red neuronal y las entradas de los RSI optimizados, se han conseguido unas rentabilidades predichas a entre 1 y 7 días que fueron todas mayores que las obtenidas a los mismos días con el RSI14 consiguiendo el óptimo en 5 y 6 días con 58.61%. Por último, para el estudio de 15 acciones del IBEX35, se han comparado las estrategias de RSI14 y optimización del RSI sin memoria y con memoria. Los resultados obtenidos fueron unas medias de 48,92% el RSI14, 52,76% el RSI optimizado sin memoria y 51,47% el RSI optimizado con memoria. Además, la mejor predicción para el RSI tradicional era con un horizonte de 2 días (49.91%) y para el RSI optimizado sin memoria y con memoria con un horizonte de 7 días (53,52% y 53,07%). Los resultados son muy parecidos por lo que no se puede concluir cuál es la mejor estrategia con mucha certeza, pero sí se puede deducir que el RSI14 es mejor para un horizonte de pocos días y el RSI optimizado para un horizonte mayor.

Por otro lado, en el estudio realizado en este trabajo, se han optimizado 12 casos todos con una única capa intermedia y se ha analizado el mejor. El mejor resultó ser una red neuronal con 5 entradas de un mismo RSI en instantes distintos y se ha obtenido una rentabilidad anual media de 14,24% para el caso de parámetros globales para cada acción y de 46,24% para el caso de parámetros individuales para cada acción. No obstante, no se puede garantizar

que la combinación de variables seleccionadas para los 12 casos sean los mejores. Habría que analizar muchos más casos para poder saber si es posible conseguir mejores rentabilidades. Sin embargo, está claro que es mejor las estrategias con optimización de los parámetros de forma individual para cada acción que de forma global para todas las acciones.

Estos dos estudios no se pueden comparar, ya que la salida de la red neuronal de uno es el RSI optimizado mientras que la salida del otro es la rentabilidad futura.

7.2.3 COMPARACIÓN DE ESTRATEGIAS

Como conclusión final, tras este estudio en el que se analiza la estrategia de optimización del RSI y la estrategia de optimización del RSI con redes neuronales y se comparan entre ellas, la mejor estrategia es la estrategia de optimización de RSI con parámetros individuales para cada acción, es decir, es la estrategia que mejor rentabilidad anual media activa obtiene.

7.3 FUTUROS DESARROLLOS

En un estudio de esta extensión, es difícil poder analizar todo lo que se puede analizar. Por ello, se dejan propuestas de futuros desarrollos que serían interesantes de analizar para continuar este trabajo. Estas propuestas son:

- Analizar más casos de la estrategia de RSI con redes neuronales. En este trabajo se han analizado 12 casos cada uno con una combinación de parámetros, pero puede haber muchas más combinaciones que a lo mejor llegan a mejores resultados.
- Analizar la persistencia en el tiempo utilizando redes neuronales y comparar los resultados con los de la persistencia en el tiempo de la estrategia de optimización del RSI obtenidos en el apartado 4.4.3..
- Realizar la optimización con otro tipo de aprendizaje automático, como por ejemplo clustering en vez de redes neuronales.
- Comparar la estrategia del RSI con otros indicadores financieros como por ejemplo el MACD (Moving Average Convergene Divergence).

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

¿Cómo funciona la Bolsa de Valores? (19 de julio de 2017). Obtenido de EAE Business School: <https://retos-directivos.eae.es/como-funciona-la-bolsa-de-valores/>

¿Qué es el aprendizaje automático? (s.f.). Obtenido de NetApp, Inteligencia Artificial: <https://www.netapp.com/es/artificial-intelligence/what-is-machine-learning/>

¿Qué es una red neuronal? (s.f.). Obtenido de MathWorks: <https://es.mathworks.com/discovery/neural-network.html>

Algoritmos de Agrupamiento. (s.f.). Obtenido de aprendeIA: <https://aprendeia.com/algoritmos-de-clustering-agrupamiento-aprendizaje-no-supervisado/>

Algoritmos de Data Mining para agrupar datos – Clustering Jerárquico. (s.f.). Obtenido de Estrategias de trading: <https://estrategiastrading.com/clustering-jerarquico/>

Behr, A., & Potter, U. (7 de diciembre de 2007). *Alternatives to the normal model of stock returns: Gaussian mixture, generalised logF and generalised hyperbolic models.* Obtenido de SpringerLink: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10436-007-0089-8>

Cybenko, G. (1989). Continuous valued neural networks with two hidden layers are sufficient.

de la Fuente, N. (15 de mayo de 2018). *El RSI y cómo utilizarlo en nuestra estrategia de trading.* Obtenido de ROBECO The Investment Engineers: https://www.finanzas.com/mercados/el-rsi-y-como-utilizarlo-en-nuestra-estrategia-de-trading_13841252_102.html

Enke, D., Grauer, M., & Mehdiyev, N. (2011). *Stock Market Prediction with Multiple Regression, Fuzzy Type-2 Clustering and Neural Networks*. Obtenido de ScienceDirect:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1877050911005035?token=72B57C7CFECEA70D52E0FC578AB3C2D90C19B8698C4EA8684C4468B56EDCC59C6C241DA1B4740F1A6C5B207B28F9C5A1>

Kimoto, T., Asakawa, K., Yoda, M., & Takeoka, M. (1990). Stock market prediction system with modular neural network. In Proceedings of the international joint conference on neural networks. San Diego CA.

K-Means Clustering: Agrupamiento con Minería de datos. (s.f.). Obtenido de Estrategias de trading: <https://estrategiastrading.com/k-means/>

López, J. F. (s.f.). *Mercado bursátil*. Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/mercado-bursatil.html>

Machine Learning. (s.f.). Obtenido de MathWorks: <https://es.mathworks.com/discovery/machine-learning.html>

Mahajan, Y. D. (Diciembre de 2015). *Optimization of MACD and RSI indicators: An Empirical Study of Indian Equity Market for Profitable Investment Decisions*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fdeliverypdf.ssrn.com%2Fdelivery.php%3FID%3D4801021160971201111200920730990960301270590600500070250290291150071140130250640140110330561201230400080221081141190940150861050

Marek, P., & Sedivá, B. (Septiembre de 2017). *Optimization and Testing of RSI*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FPatrice-

Marek%2Fpublication%2F322209653_Optimization_and_Testing_of_RSI%2Flinks%2F5a4bb22a0f7e9b8284c2dacc%2FOptimization-and-Testing-of-

Momeni, M., Mohseni, M., & Soofi, M. (enero de 2015). *CLUSTERING STOCK MARKET COMPANIES VIA K-MEANS*. Obtenido de http://www.arabianjbmr.com/pdfs/KD_VOL_4_5/1.pdf

Murata, N., Yoshizawa, S., & Amari, S. (1994). Determining the number of hidden units for an artificial neural network model.

Osciladores de Trading . (4 de junio de 2020). Obtenido de Admiral Markets: <https://admiralmarkets.com/es/education/articles/forex-indicators/osciladores-forex>

Perez, E. (14 de abril de 2019). *Trading Algorítmico con redes neuronales*. Obtenido de AdmiralsMarkets: rankia.com/blog/como-no-quedarte-a-2-velas-en-el-trading/4228382-trading-algoritmico-redes-neuronales

Pina, D. (s.f.). *Análisis Técnico De Los Mercados Financieros*. Obtenido de Umarkets: <https://es.investing.com/education/webinars/an%C3%A1lisis-t%C3%A9cnico-de-los-mercados-financieros-556>

Pring, M. J. (1991). *Technical analysis explained*. New York.

Rabassa, Y. (2019). El indicador RSI y sus trucos. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=_tG7w2HtQc0

Rabassa, Y. (11 de octubre de 2019). Osciladores de trading. Cómo usarlos correctamente. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=6yKrVKwrGvM>

Rodríguez-González, A., García-Crespo, Á., Colomo-Palacios, R., Iglesias, F. G., & Gómez-Berbís, J. M. (2011). *CAST: Using neural networks to improve trading systems based on technical analysis by means of the RSI financial indicator*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmninnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2F-

archivo.uc3m.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10016%2F14358%2FCAST_ESA_2011_ps.pdf&clen=673444

Sevilla, A. (2021). *Cómo se calcula el RSI*. Obtenido de Economipedia:
<https://economipedia.com/definiciones/como-se-calcula-el-rsi-ejemplo.html>

The worlds #1 website for end of day & historical stock data. (2021). Obtenido de eoddata:
<http://www.eoddata.com/default.aspx>

Thirunavukarasu Anbalagan, S., & Maheswari, U. (marzo de 2015). *Classification and Prediction of Stock Market Index Based on Fuzzy Metagraph*. Obtenido de ScienceDirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915004688>

Tumminello, M., Lillo, F., & Mantegna, R. N. (26 de septiembre de 2008). *Correlation, hierarchies, and networks in*. Obtenido de <https://arxiv.org/pdf/0809.4615.pdf>

Vazquerizo, R. (28 de julio de 2010). *Entrenamiento, validación y test*. Obtenido de Análisis y Decisión: <https://analisisydecision.es/entrenamiento-validacion-y-test/>

Vázquez, R. (s.f.). *Oscilador técnico*. Obtenido de Economipedia:
<https://economipedia.com/definiciones/oscilador-tecnico.html>

White, H. (1988). Economic prediction using neural networks: The case of IBM daily stock returns. In Proceedings of the 2nd annual IEEE conference on neural networks, II.

Wilder, J. (1978). *New concepts in technical trading systems*. Greensboro, NC: Hunter Publishing Company.

ANEXO I: MATRICES DEL ANÁLISIS DE OPTIMIZACIÓN (4.5.1.1)

Para cada ventana del RSI hay dos matrices:

- ❖ Rentabilidad activa anual media
- ❖ Número de operaciones medio por año

En cada matriz:

- ❖ Las filas son los umbrales de compra: 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45
- ❖ Las columnas son los umbrales de venta: 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90

Ventana 9															
Rentabilidad activa anual media								Número de operaciones medio por año							
-0.5142	-0.4419	-0.1827	0.2311	0.8836	1.7818	3.0520	5.1839	3.7069	3.6392	3.5540	3.4385	3.2760	3.0258	2.7127	2.2210
-0.6794	-0.4804	-0.1628	0.5044	1.5845	2.8143	4.5334	7.2364	6.1875	6.0150	5.7734	5.4968	5.1137	4.6069	3.9400	3.0229
-0.5629	-0.3143	0.1495	1.0785	2.3265	3.9383	5.8495	8.4132	8.8387	8.5026	8.0877	7.5342	6.8589	6.0317	4.9731	3.6279
-0.1129	0.1491	0.6352	1.7949	3.3292	5.1361	7.3525	9.6794	11.5665	10.9706	10.2857	9.4367	8.4157	7.2395	5.8069	4.0841
0.2545	0.6731	1.2386	2.5199	4.2335	6.1069	8.3815	10.5622	14.3395	13.3717	12.3513	11.1565	9.7822	8.2483	6.4656	4.3815
0.2693	0.8383	1.6638	2.9972	4.8756	6.9043	9.1696	11.2976	17.1013	15.6688	14.2451	12.6613	10.9498	9.0574	6.9490	4.6183
-0.3140	0.5872	1.7230	3.1961	5.1398	7.2046	9.4958	11.5837	20.2001	17.9712	16.0247	14.0365	11.9160	9.7089	7.3133	4.7710
-1.8567	-0.1568	1.3352	3.1305	5.3096	7.4307	9.6721	11.7934	24.0777	20.4800	17.7773	15.2375	12.7609	10.2270	7.5823	4.8794

Ventana 14															
Rentabilidad activa anual media								Número de operaciones medio por año							
0.4146	0.4450	0.7063	1.1105	1.6104	2.0863	3.1168	4.6270	0.8200	0.8151	0.7962	0.7809	0.7473	0.6914	0.6052	0.4579
0.6523	0.7074	1.2180	1.8365	2.7331	3.6991	5.5112	7.6624	2.0470	1.9928	1.9334	1.8429	1.7062	1.5067	1.1819	0.7917
0.8762	1.0454	1.6408	2.5102	3.8336	5.3040	7.7777	9.7251	3.7278	3.5623	3.4004	3.1600	2.7986	2.3271	1.7204	1.0064
1.3483	1.6711	2.4630	3.5540	5.2995	7.2605	9.6639	11.6336	5.7161	5.4034	5.0184	4.5407	3.8941	3.0991	2.1630	1.1900
1.9048	2.3151	3.3671	4.6624	6.5601	8.5712	10.6600	12.5575	7.8379	7.2708	6.6233	5.8265	4.8595	3.7112	2.4633	1.2813
2.2580	2.6265	3.8507	5.2618	7.2895	9.4514	11.4807	13.1159	10.0210	9.0442	8.0598	6.9335	5.6499	4.1673	2.6470	1.3374
2.2304	2.9473	4.3018	5.7998	7.8775	10.1580	12.0169	13.4236	12.4279	10.8175	9.3925	7.8857	6.2707	4.4947	2.7815	1.3777
1.5257	2.6914	4.3198	5.8319	8.1099	10.3272	12.0890	13.5151	15.5407	12.6985	10.6271	8.6819	6.7414	4.7499	2.8728	1.3953

Ventana 19															
Rentabilidad activa anual media								Número de operaciones medio por año							
0.2052	0.2693	0.3977	0.5831	0.8954	1.2845	1.9393	2.5690	0.1884	0.1873	0.1873	0.1873	0.1777	0.1662	0.1442	0.1002
0.6008	0.6566	1.1292	1.5489	2.4216	3.5193	4.8941	6.4465	0.6827	0.6654	0.6495	0.6265	0.5911	0.5171	0.3844	0.2347
1.1568	1.3199	1.9993	2.7530	4.1301	5.9420	7.9142	10.0461	1.6736	1.6256	1.5519	1.4526	1.2767	1.0248	0.6901	0.3554
1.7323	2.0005	2.8272	3.9966	5.8531	7.8694	10.4301	12.8502	3.0826	2.9303	2.7115	2.4319	2.0204	1.5016	0.9059	0.4144
2.3685	3.0410	3.8357	5.2769	7.3154	9.3296	11.8628	14.1943	4.8054	4.4500	4.0031	3.4421	2.7222	1.8857	1.0419	0.4480
2.7947	3.5917	4.7862	6.4526	8.4017	10.2187	12.4371	14.7143	6.5983	5.9426	5.1966	4.3163	3.2624	2.1512	1.1487	0.4667
3.2001	4.3460	5.4608	7.2516	9.1695	10.8381	12.7408	15.0030	8.5446	7.3887	6.2772	5.0515	3.6932	2.3223	1.2057	0.4729
3.3351	4.7067	6.0823	7.8944	9.8256	11.3609	13.0074	15.2917	11.0580	8.8516	7.2455	5.6394	4.0024	2.4328	1.2315	0.4778

Tabla 34: Matrices de la rentabilidad activa anual media y el número de operaciones medio por año según los parámetros (ventana 9, 14 y 19)

Ventana 24														
Rentabilidad activa anual media								Número de operaciones medio por año						
0.0390	0.0706	0.1440	0.2119	0.3170	0.4273	0.4984	0.5571	0.0499	0.0502	0.0503	0.0502	0.0505	0.0481	0.0342
0.2949	0.4532	0.7481	1.1192	1.7961	2.5193	3.2338	4.2333	0.2633	0.2635	0.2517	0.2452	0.2308	0.1906	0.1432
0.8137	1.1965	1.7247	2.6253	3.8196	5.1212	6.7059	8.7410	0.7874	0.7750	0.7398	0.6926	0.6004	0.4608	0.2965
1.4688	1.8421	2.6720	4.0428	5.6833	7.6375	10.1125	12.9839	1.7893	1.7174	1.5874	1.4208	1.1494	0.7831	0.4344
2.1043	2.6922	3.8148	5.6492	7.7821	9.6256	12.3791	15.7818	3.1722	2.9216	2.6338	2.2066	1.6504	1.0455	0.5123
3.0849	3.7132	5.0432	7.0946	9.0448	10.8884	13.6601	17.1242	4.7565	4.2412	3.6655	2.9363	2.0824	1.2207	0.5534
3.7083	4.6780	5.8548	8.0384	9.8283	11.4898	14.1665	17.4931	6.4310	5.5177	4.5672	3.5030	2.3648	1.3152	0.5757
3.5334	5.1034	6.3490	8.6179	10.5137	11.9779	14.2476	17.5982	8.5124	6.7739	5.3506	3.9504	2.5804	1.3711	0.5864

Ventana 29														
Rentabilidad activa anual media								Número de operaciones medio por año						
0.0004	0.0027	0.0044	0.0022	0.0040	0.0032	0.0034	0.0011	0.0101	0.0103	0.0104	0.0105	0.0108	0.0106	0.0056
0.1734	0.2657	0.3944	0.5924	1.0153	1.3090	1.6125	1.8068	0.1043	0.0971	0.0962	0.0935	0.0857	0.0760	0.0550
0.6366	0.8302	1.2499	1.8881	2.9041	4.0676	5.1273	6.2417	0.4067	0.4036	0.3862	0.3667	0.3051	0.2272	0.1483
1.3623	1.7385	2.5226	3.6946	5.3773	7.1859	8.8969	10.5854	1.0681	1.0159	0.9470	0.8309	0.6463	0.4261	0.2316
2.4668	2.9306	4.1389	5.5662	7.7369	10.2045	12.8275	15.0390	2.1822	2.0360	1.8209	1.5008	1.0656	0.6072	0.2908
3.4844	3.9976	5.4169	7.4240	9.4415	11.9979	14.9619	17.6444	3.5507	3.1470	2.6745	2.0632	1.3735	0.7337	0.3160
4.1087	4.6921	6.5425	8.5602	10.3458	12.6715	15.7632	18.7196	4.9834	4.2240	3.4431	2.5351	1.5881	0.7958	0.3301
4.4001	5.2154	7.2105	9.1863	10.8758	13.0166	15.9687	18.8331	6.7501	5.2832	4.0923	2.8567	1.7064	0.8307	0.3352

Ventana 34														
Rentabilidad activa anual media								Número de operaciones medio por año						
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0379	0.0974	0.1722	0.2701	0.3593	0.4932	0.5491	0.6032	0.0423	0.0422	0.0426	0.0349	0.0312	0.0252	0.0219
0.3136	0.5922	0.9532	1.4963	2.1771	2.8407	3.3376	3.7024	0.2044	0.2031	0.2026	0.1820	0.1568	0.1130	0.0792
1.1522	1.7458	2.4746	3.6317	5.0292	6.8630	7.9598	8.7919	0.6580	0.6302	0.5867	0.5113	0.3863	0.2510	0.1521
1.8866	2.6275	3.8038	5.2757	7.0322	9.5974	11.7523	13.2815	1.5389	1.4263	1.2694	1.0196	0.6996	0.3818	0.2023
2.9978	3.8511	5.3567	7.2522	9.5228	12.4002	15.1620	17.1164	2.6953	2.3804	1.9779	1.4908	0.9335	0.4579	0.2211
3.7373	4.8147	6.8137	8.8529	10.8537	13.5861	16.6392	18.8389	4.0012	3.3724	2.6719	1.8910	1.1034	0.4944	0.2301
4.1030	5.2865	7.4382	9.4838	11.2439	13.8476	17.0239	19.2620	5.5490	4.3067	3.2479	2.1605	1.1862	0.5087	0.2332

Tabla 35: Matrices de la rentabilidad activa anual media y el número de operaciones medio por año según los parámetros (ventana 24, 29 y 34)