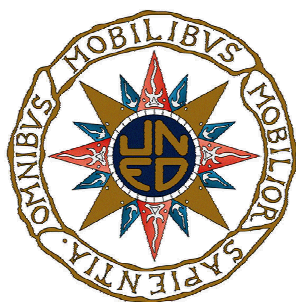


Máster en Ingeniería de Sistemas y Control

Sistema inteligente de gestión de capital para inversión en Bolsa

Estudiante: Rodrigo Naranjo Mota
Directores: Javier Arroyo, Matilde Santos Peñas
Curso académico: 2012-2013
Convocatoria de defensa: Junio 2013



Máster en Ingeniería de Sistemas y Control

Sistema inteligente de gestión de capital para inversión en Bolsa

Clase de proyecto: Tipo A: Proyecto específico propuesto por un profesor

Estudiante: Rodrigo Naranjo Mota

Directores: Javier Arroyo, Matilde Santos Peñas

Autorizamos a la Universidad Complutense y a la UNED a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a sus autores, tanto la memoria de este Trabajo Fin de Máster, como el código, la documentación y/o el prototipo desarrollado.

Firmado: Rodrigo Naranjo Mota

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Rodrigo N. Mota', enclosed within a faint rectangular border.

Firma del alumno

Resumen:

En este trabajo se presenta un sistema de gestión de capital basado en lógica difusa. A diferencia de otros trabajos anteriores que usan un sistema de trading más simple, en este caso se han definido nuevos indicadores fuzzy que permiten no sólo orientar en la decisión de cuándo entrar o salir del mercado, sino también la cantidad a invertir o a retirar en cada una de las operaciones. Por lo tanto se ha desarrollado un sistema de ayuda a la toma de decisión en la gestión del capital con técnicas fuzzy. Esta propuesta ha sido simulada y comparada con otras estrategias clásicas asentadas en la bolsa con resultados muy satisfactorios.

Palabras clave:

Trading, lógica fuzzy, toma de decisiones, bolsa, inversión, f-óptima, gestión de capital, ninjatrader.

Índice

| | |
|--|------------|
| RESUMEN: | I |
| PALABRAS CLAVE: | I |
| ÍNDICE | III |
| LISTADO DE FIGURAS | V |
| LISTADO DE TABLAS | VI |
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Planteamiento del problema | 1 |
| 1.2. Objetivos del trabajo | 2 |
| 1.3. Estructura de la memoria | 3 |
| CAPÍTULO 2. CONCEPTOS TÉCNICOS SOBRE BOLSA | 5 |
| 2.1. Indicadores | 5 |
| 2.1.1. TR - True Range..... | 5 |
| 2.1.2. ADX - Average Directional index..... | 7 |
| 2.1.3. SMA - Simple Moving Average | 9 |
| 2.1.4. MACD - Moving Average Convergence Divergence | 10 |
| 2.1.5. RSI - Relative Strenght Index | 13 |
| 2.2. Gestión del capital | 15 |
| 2.2.1. F-Óptima | 18 |
| 2.2.2. Otros sistemas de gestión del capital | 21 |
| CAPÍTULO 3. LÓGICA DIFUSA | 25 |
| 3.1. Introducción | 25 |
| 3.2. Funciones de pertenencia de conjuntos borrosos | 28 |
| 3.3. Medidas borrosas | 28 |
| 3.4. Fuzzyficación o borrosificación | 29 |
| 3.5. Evaluación de reglas | 29 |
| 3.6. Sistema o motor de inferencia borrosa | 30 |
| 3.7. Defuzzyficación o desborrosificación | 31 |
| CAPÍTULO 4. DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA LA TOMA DE DECISIONES | 33 |
| 4.1. Introducción | 33 |
| 4.2. Indicador personalizado MyMACD | 34 |
| 4.3. Fuzzyficación de señales de entrada y de salida | 36 |
| 4.4. Reglas del sistema Clásico | 37 |
| 4.5. Reglas del sistema Fuzzy | 38 |
| 4.6. F-óptima personalizada | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 4.7. Condiciones de salida | 40 |
| 4.8. Estrategias para la toma de decisiones | 41 |
| CAPÍTULO 5. RESULTADOS | 45 |
| 5.1. Introducción | 45 |
| 5.1.1. Escenario de pruebas..... | 45 |
| 5.1.2. Sistema de decisión Fuzzy | 47 |
| 5.1.3. Sistema de decisión Clásico | 48 |
| 5.1.4. Buy & Hold | 48 |
| 5.2. Resultados con ventana fija | 48 |
| 5.2.1. Estrategia Fuzzy | 48 |
| 5.2.2. Sistema de Decisión Estrategia Clásico..... | 49 |
| 5.2.3. Comparativa Fuzzy – Clásica | 50 |
| 5.3. Resultados con ventana deslizante | 52 |
| 5.3.1. Sistema de Decisión Fuzzy..... | 52 |
| 5.3.2. Sistema de Decisión Clásico | 54 |
| 5.3.3. Comparativa Fuzzy – Clásica | 57 |
| 5.4. Buy & Hold | 57 |
| 5.4.1. Resultados obtenidos | 58 |
| 5.4.2. Comparativa con estrategias Fuzzy y Clásica..... | 58 |
| CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS | 65 |
| 6.1. Difusión y publicación de resultados | 71 |
| BIBLIOGRAFÍA | 73 |
| LISTADO DE SIGLAS, ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS | 75 |
| ANEXOS | 77 |

Listado de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Componentes del sistema de trading propuesto | 2 |
| Figura 2. Ejemplo con tres situaciones del TR en la que no se usa el rango máximo-mínimo actual. | 6 |
| Figura 3. Ejemplo de señales con el ADX. | 9 |
| Figura 4. Ejemplo de dos curvas SMA, con diferente número de sesiones (15 para SMA corta o rápida y 50 para SMA larga o lenta). | 10 |
| Figura 5. Ejemplo de cruces de MACD con el nivel 0. | 11 |
| Figura 6. Ejemplo de cruces de MACD con el componente Señal. | 12 |
| Figura 7. Ejemplo de zonas de sobrecompra y sobreventa proporcionadas por el indicador RSI. | 14 |
| Figura 8. Ejemplo de divergencia alcista. | 15 |
| Figura 9. Gráfica comparativa entre diferentes métodos de gestión de capital. | 16 |
| Figura 10. Curva de la F óptima. | 20 |
| Figura 11. Ejemplo de conjuntos borrosos para la variable <i>Estatura</i> | 26 |
| Figura 12. Funciones de inclusión de conjuntos clásico (izquierda) y borroso (derecha) para edad adulta. | 27 |
| Figura 13. Términos relativos a los conjuntos borrosos | 27 |
| Figura 14. Función de tipo T (triangular) | 28 |
| Figura 15. Estructura de ficheros para el Sistema Fuzzy o Clásico. | 34 |
| Figura 16. Fuzzyficación de indicadores y salidas | 36 |
| Figura 17. Representación de f-óptima, f-líquida y f sobre curva de ganancia en función del riesgo asumido por operación | 40 |
| Figura 18. Comparativa de la evolución del capital disponible para el valor AAPL con ventana fija | 59 |
| Figura 19. Comparativa de la evolución del capital disponible para el valor AAPL con ventana deslizante | 60 |
| Figura 20. Comparativa de la evolución del capital disponible para el valor AKAM con ventana fija | 61 |
| Figura 21. Comparativa de la evolución del capital disponible para el valor AKAM con ventana deslizante | 62 |
| Figura 22. Comparativa de la evolución del capital disponible para el valor ALTR con ventana fija | 63 |
| Figura 23. Comparativa de la evolución del capital disponible para el valor ALTR con ventana fija | 64 |

Listado de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1.Reglas para el Sistema Clásico..... | 37 |
| Tabla 2.Reglas fuzzy del sistema de trading..... | 38 |
| Tabla 3.VARIABLES y período de optimización..... | 45 |
| Tabla 4.Parámetros del optimizador basado en algoritmos genéticos..... | 47 |
| Tabla 5.Períodos de entrenamiento y validación para método de ventana fija..... | 47 |
| Tabla 6.Períodos de entrenamiento y validación para método de ventana deslizante. | 48 |
| Tabla 7.Resultados de optimizar la estrategia fuzzy con el método de ventana fija | 49 |
| Tabla 8.Resultados de validar la estrategia fuzzy con el método de ventana fija | 49 |
| Tabla 9.Resultados de optimizar la estrategia clásica con el método de ventana fija.. | 50 |
| Tabla 10.Resultados de validar la estrategia clásica con el método de ventana fija.... | 50 |
| Tabla 11.Tabla comparativa entre estrategia fuzzy y clásica con el método de ventana fija..... | 51 |
| Tabla 12.Resultados de optimizar la estrategia fuzzy con el método de ventana deslizante | 53 |
| Tabla 13.Resultados de validar la estrategia fuzzy con el método de ventana deslizante | 54 |
| Tabla 14.Comparativa para la estrategia fuzzy con método de ventana fija y deslizante | 54 |
| Tabla 15.Resultados de optimizar la estrategia clásica con el método de ventana deslizante | 55 |
| Tabla 16.Resultados de validar la estrategia clásica con el método de ventana deslizante | 56 |
| Tabla 17.Comparativa para la estrategia clásica con método de ventana fija y deslizante | 57 |
| Tabla 18.Comparativa para ambas estrategias con método de ventana fija y deslizante | 57 |
| Tabla 19.Resultados obtenidos de validar la estrategia de B&H..... | 58 |
| Tabla 20.Tabla comparativa de estrategia B&H con estrategias fuzzy y clásica | 58 |

Capítulo 1. Introducción

1.1. *Planteamiento del problema*

Dentro del área financiera, una de las principales preocupaciones ha sido la predicción de los movimientos de los precios en los mercados bursátiles. Diversos estudios muestran que el rendimiento del mercado bursátil es predecible en cierto grado. Por ejemplo [1], utilizando datos de mercados bursátiles, registraron una correlación positiva en el rendimiento semanal.

Para poder predecir el movimiento de los precios futuros se han utilizado diversas técnicas y métodos, basándose en el análisis del histórico de los mercados. Algunos trabajos, como el de [2], utilizan algoritmos genéticos para encontrar reglas de trading que superen a la estrategia clásica Buy and Hold; también se han aplicado redes neuronales, cuyo primer exponente en este campo fue White en 1988 [3], quien utiliza un perceptrón multicapa alimentado de series de precios y volúmenes de la empresa IBM, y obtiene resultados buenos comparados con un modelo lineal autoregresivo. Se han usado también árboles de regresión [4] y máquinas de vectores soporte [5], comparando el sistema basado en máquinas de vectores soporte con otro basado en árboles predictores aleatorios. En [6] se utiliza un modelo de lógica clásica y otro de lógica borrosa para predecir el signo de la variación del índice bursátil IPSA. En resumen, en el ámbito de la inversión en bolsa se han usado diversas técnicas de Soft Computing, que se han demostrado muy útiles.

Sin embargo, algunos estudios muestran que no es suficiente predecir el movimiento de los precios del mercado, sino que además es necesario tener una gestión de capital eficiente que indique la cantidad a invertir. Con este objetivo se han aplicado diferentes técnicas, algunas de ellas sencillas, como por ejemplo el modelo de lote fijo, fracción fija, fracción fija periódica, fracción fija del beneficio, etc., donde realmente no existe un ratio equilibrado entre la progresión de los beneficios y el riesgo asumido en cada operación. Otras sin embargo, más sofisticadas, intentan optimizar dicho ratio, como por ejemplo, la fórmula de Kelly [7], la f-óptima [8] y sus variantes, Fixed Ratio [9], etc.

En definitiva, para implementar un sistema completo de trading, entendiendo como tal el conjunto de señales que identifican alertas en los valores a invertir, con la finalidad de conocer cuándo operar tanto en la entrada como en la salida del mercado, se debe incorporar un sistema de gestión de capital, el cual indica la cantidad a de capital a invertir para obtener una progresión de los beneficios, controlando en todo momento el riesgo deseado.

Por tanto, y según la descripción anterior, el sistema completo de trading planteado en el presente trabajo se muestra en la figura 1:

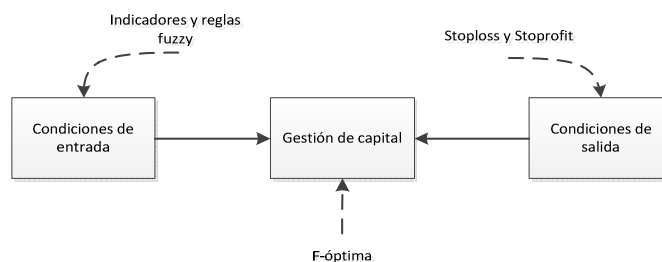


Figura 1. Componentes del sistema de trading propuesto

Como se observa en la figura 1, las condiciones de entrada al mercado la componen un conjunto de indicadores y reglas fuzzy que indican el momento adecuado para la entrada en el mercado, ya bien sea en corto o en largo. A continuación, el sistema de gestión de capital implementado, basado en la f-óptima de Ralph Vince, utiliza la información proporcionada por el sistema borroso para calcular la cantidad de capital con la que se debe entrar en el mercado. A su vez, establece las condiciones de salida según el riesgo deseado, mediante dos conceptos: stoploss y stopprofit.

1.2. Objetivos del trabajo

El objetivo de este trabajo es profundizar en el análisis de sistemas de predicción basados en lógica borrosa, tal y como se planteó en el trabajo de Albert Meco [13] y ver como éstos mejoran los resultados obtenidos en comparación con sistemas basados en lógica clásica.

En dicho trabajo, se comparaban, de una forma superficial, los resultados obtenidos con ambos sistemas, además se proponía una estrategia que invertía una fracción del capital disponible en función de la salida proporcionada por el sistema borroso. Dicha estrategia, no tenía en cuenta la gestión del riesgo asumido en cada operación ni la progresión de los beneficios. Es por ello, que en el presente trabajo, se ha añadido un sistema de gestión de capital para completar el sistema propuesto en [13] y poder analizar y valorar cómo la incorporación de una estrategia de gestión de capital mejora los resultados obtenidos con el sistema fuzzy en comparación con los sistemas clásicos.

Se debe aclarar, que el sistema de indicadores escogido para este trabajo, que indicará la entrada al mercado, se trata de un sistema simple basado en tres indicadores, ya que el objetivo principal del trabajo, como ya se ha comentado, es analizar la mejora que proporciona introducir tanto la lógica borrosa al sistema como el sistema de gestión de capital y no la búsqueda de un conjunto de indicadores que proporcione el mejor ratio aciertos/fallos. Es por ello, que al utilizar los mismos indicadores para ambos sistemas (Fuzzy y Clásico), ambos tienen las mismas condiciones de partida y por tanto se pueden extrapolar los resultados obtenidos a otros sistemas que utilicen un conjunto de indicadores diferente.

Por tanto, en este trabajo se han implementado dos sistemas, el primero de ellos basado en indicadores y reglas fuzzy, así como en un sistema de gestión de capital basado en la f-optima. El segundo sistema se ha desarrollado como un sistema de reglas fijas y una estrategia de gestión de capital todo-nada. En ambos casos se han utilizado las mismas condiciones de salida para que no influya este factor en la comparación de los resultados obtenidos.

1.3. Estructura de la memoria

El presente trabajo está estructurado en 5 capítulos más, además de un anexo repartidos de la siguiente forma:

- En el capítulo 2 se plantean los aspectos teóricos relacionados con la Bolsa. Principalmente se hará una descripción de los indicadores técnicos y la estrategia de gestión de capital utilizados en este trabajo.
- El capítulo 3 resume los principios en los que se basa un sistema borroso así como las distintas etapas que lo componen.
- El capítulo 4 describe, de forma detallada, la implementación de los dos sistemas escogidos para el presente trabajo, así como de las partes que los componen.
- En el capítulo 5 se recogen y analizan los resultados obtenidos tras ejecutar ambos sistemas en la plataforma NinjaTrader. Además se detallan varios ejemplos, sobre los que se muestran, las principales características del comportamiento obtenidos tras la validación de los sistemas implementados.
- El capítulo 6 recoge las conclusiones que se destacan de la investigación realizada y el conjunto de posibles líneas futuras que pueden ser tomadas en cuenta para la continuación de este trabajo.
- En el anexo se han incluido, para no extender de forma innecesaria la longitud de esta memoria, todas las tablas y gráficas obtenidas tras realizar las diferentes pruebas descritas en el trabajo.

Capítulo 2. Conceptos técnicos sobre Bolsa

Debido a la gran cantidad de información que se puede encontrar relacionada con esta temática, en el presente capítulo se ha elaborado un resumen de los diferentes aspectos, relacionados con la bolsa y que se utilizarán en este trabajo. Como fuentes, se han tomado varias webs especializadas en esta temática. Dichas fuentes son “Artículos Forex”, “Investopedia” y “Rankia”. Para más detalle, ver apartado de bibliografía.

2.1. *Indicadores*

A continuación se describen los indicadores técnicos utilizados en este apartado y que son comúnmente utilizados por multitud de traders. Dichos indicadores proporcionan la información necesaria para determinar la entrada al mercado. La principal característica de estos indicadores técnicos presentados es que se basan en la información (observando diferentes parámetros) obtenida de un número determinado de sesiones anteriores.

2.1.1. *TR - True Range*

El True Range es un indicador creado por J. Welles Wilder [10] que intenta mostrar la volatilidad de un valor dado. El TR ofrece dos señales básicas:

- Los valores altos advierten de las cimas y valles del mercado (máximos y mínimos)
- Los valores bajos indican mercados oscilantes

Por tanto, un prolongado período de valores bajos podría indicar una consolidación y el comienzo de un movimiento de continuación o de inversión. Los valores altos, por lo general, es el resultado de un avance sostenido o decadencia y no es probable que se mantenga durante largos períodos de tiempo.

El valor del TR se obtiene como el máximo entre los siguientes:

- La diferencia entre el valor máximo actual y el valor mínimo actual del precio.

- La diferencia absoluta entre el valor del máximo actual y el cierre de la sesión anterior.
- La diferencia absoluta entre el mínimo actual y el cierre de la sesión anterior.

Básicamente, el cierre para la sesión anterior es sustituido por el mínimo actual, si es menor, o por el máximo actual si es mayor. Aunque por defecto se usa el valor del cierre, es posible usar otros valores, como por ejemplo, el valor de apertura.

Observando las tres posibilidades se puede deducir que si las dos últimas posibilidades son mayores que el rango máximo-mínimo actual puede indicar que ha habido un *gap* o movimiento límite.

En la figura 2 se puede apreciar un ejemplo con tres situaciones en las que el TR no usará el rango máximo-mínimo actual. Dos de los ejemplos muestran un amplio *gap* y los tres tienen un rango máximo-mínimo de la vela actual estrecho.

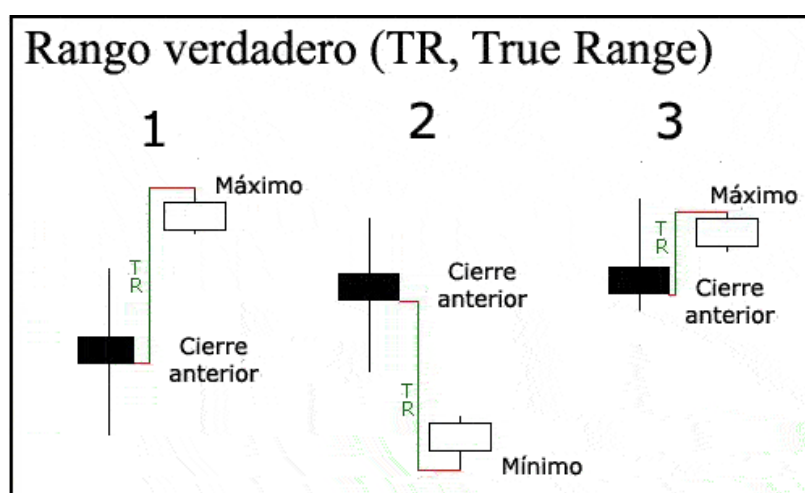


Figura 2. Ejemplo con tres situaciones del TR en la que no se usa el rango máximo-mínimo actual.

Fuente: ATR (Average True Range) y la volatilidad | Artículos Forex <http://www.efxto.com>

1. En la figura 2 (parte 1) se observa una formación con un rango máximo-mínimo pequeño tras un *gap* alcista. El TR es el valor absoluto de la diferencia entre el máximo actual y el cierre de la vela anterior, que es, en este caso el valor más alto de entre las posibilidades que se ha descrito anteriormente.
2. En este caso (parte 2 de la figura) también hay un rango máximo-mínimo pequeño. Se observa un *gap* bajista. El TR es el valor absoluto de la diferencia entre el mínimo actual y el cierre anterior.
3. En la parte derecha de la figura (columna 3) se observa que el rango máximo-mínimo actual sigue siendo pequeño, y, aunque el valor absoluto de la diferencia entre el máximo actual y el cierre anterior también es pequeño, es mayor que dicho rango.

Por tanto, el TR refleja la amplitud del movimiento que ha tenido lugar de forma mucho más realista que el simple rango máximo-mínimo. Si se toma por ejemplo el caso 1 de la figura 2, se puede apreciar como el rango máximo-mínimo parece

pequeño cuando en realidad ha habido un movimiento mucho mayor que sí queda reflejado en el TR.

2.1.2. ADX - Average Directional index

El ADX o Average Direccional Index, que traducido es el Índice Direccional Medio, es un indicador técnico tipo oscilador que fluctúa entre 0 y 100 cuyo valor está basado en el rango de movimiento verdadero (TR, True Range). El ADX también fue desarrollado por Welles Wilder [10] con el objetivo de obtener información sobre la fuerza de la tendencia actual del mercado para determinar así si se está ante una situación de tendencia o de rango. Adicionalmente, el ADX también nos informa sobre la tendencia predominante del mercado a través de los indicadores de movimiento positivo/negativo (DI_+ y DI_-).

Al representar este indicador a un gráfico se puede ver tres líneas: (figura 3) la línea DI_+ (abreviación de Positive Directional Indicator), la línea DI_- (Negative Directional Indicator) y la línea ADX.

Cómo se ha comentado anteriormente, el ADX es un indicador tipo oscilador que fluctúa entre 0 y 100 aunque es importante señalar que lecturas sobre el nivel 60 se dan en raras ocasiones. Los valores de las distintas líneas que componen el ADX se pueden calcular como se detalla a continuación:

DI_+ (Positive Directional Indicator o Indicador Direccional Positivo): Es la línea del indicador de dirección positiva que mide la presencia de movimientos al alza. Su cálculo proviene de:

$$DI_+ = \frac{DM_+}{TR} \quad (1)$$

Donde DM_+ es la suma de los movimientos en dirección positiva y el TR es el True Range (Rango Verdadero) para un período dado.

DI_- (Negative Directional Indicator): La línea DI_- mide la presencia de movimientos descendentes y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$DI_- = \frac{DM_-}{TR} \quad (2)$$

Donde DM_- es la suma de los movimientos negativos (descendentes) y TR es el True Range (Rango Verdadero) para un período dado.

Tanto para DI_+ como DI_- se utiliza un período de tiempo para su cálculo. Dicho período es normalmente de 14, el que fue el utilizado por Wilder en el desarrollo del ADX. No obstante, se puede y se debe probar con el período que más se adapte al activo analizado y a las condiciones del mercado predominantes.

ADX (Average Directional Index): Esta es la línea que da nombre al indicador y es la que se usará para determinar la fuerza de la tendencia actual. Su cálculo deriva de la división de la diferencia entre DI_+ y DI_- y la suma de ambos:

$$ADX = \frac{DI_+ - DI_-}{DI_+ + DI_-} \quad (3)$$

Cómo se puede deducir de las fórmulas expuestas en los párrafos anteriores, las líneas DI_+ y DI_- informan de la dirección de los movimientos del mercado, mientras que la línea ADX indica el estado del mercado: en tendencia o en rango.

Existirá *tendencia alcista* siempre que la línea DI_+ esté sobre la línea DI_- . Del mismo modo se dice que hay *tendencia bajista* cuando DI_- está sobre DI_+ . La señal de compra se dará cuando se produzca el cruce de abajo hacia arriba de DI_+ sobre DI_- . La señal de venta se origina con el cruce de abajo hacia arriba de DI_- sobre DI_+ . Nótese que en ambos casos el cruce se produce desde abajo hacia arriba. Esto es obvio si se piensa en el significado de cada línea, el DI_+ mide los movimientos ascendentes mientras que el DI_- mide los movimientos descendentes, por tanto la tendencia estará en la misma dirección que los movimientos de la línea con un valor mayor.

Otra información importante que proporciona el indicador ADX es la fuerza de las señales que da el cruce de las líneas DI_+ y DI_- . En general, si el ADX tiene un valor por encima de 25 se puede decir que hay movimientos amplios en el mercado, o en otras palabras, se puede considerar que la volatilidad es suficiente para tomar en consideración la señal de compra o venta pues el mercado no está en rango. Si el ADX está por debajo de 20 los movimientos que se producen son de corto recorrido por lo que las señales de tendencia no tienen mucha fuerza. Un valor del ADX por encima de 40 indica una tendencia fuerte, ya sea bajista o alcista. Resumiendo, si el ADX está por debajo de 25 se recomienda permanecer fuera del mercado, si está por encima de 25 se puede tomar en consideración las señales generadas.

A continuación se muestra un ejemplo en el cual se hace uso de las señales que proporciona el indicador ADX . Concretamente, en la figura 3 se puede ver como el mercado se mueve en rango en el período comprendido entre las líneas verticales dibujadas en el ADX . Como se puede observar, el ADX (línea azul de la ventana inferior) se mantiene bajo el nivel 25 indicando movimientos direccionales cortos. Durante este período no se tienen en cuenta las señales producidas por el cruce de las líneas DI_+ (verde) y DI_- (rojo). Posteriormente se puede ver cómo tras el cruce de DI_- sobre DI_+ , indicando tendencia a la baja, el ADX cruza el nivel 25 hacia arriba indicando que la tendencia va tomando mayor fuerza. Esta fuerza también viene indicada por el cruce hacia arriba del DI_- sobre el propio ADX . Al seguir avanzando el ADX sube sobre el nivel 40 y al poco tiempo cae indicando una posible frenada de la tendencia. Tras esta caída del ADX por debajo del nivel 40 el mercado tiene un movimiento más lateral.



Figura 3. Ejemplo de señales con el ADX.

Fuente: Artículos Forex <http://www.efxto.com>

2.1.3. SMA - Simple Moving Average

Este indicador consiste en el cálculo de una media aritmética en la que se tomará la sumatoria de los últimos n precios de cierre y se divide entre n , siendo n el número de períodos.

Por tanto para el cálculo del indicador SMA para un número de sesiones se utiliza la siguiente fórmula:

$$SMA = \frac{p_M + p_{M-1} + \dots + p_{M-(n-1)}}{n} \quad (4)$$

Donde $p_M + p_{M-1} + \dots + p_{M-(n-1)}$ indican los precios de cierre de las n sesiones previas.

Cuando se calculan sucesivos valores, un nuevo valor entra en la suma y el valor anterior (el correspondiente a la sesión más antigua) se retira. Por tanto quedaría:

$$SMA_{hoy} = SMA_{ayer} - \frac{p_{M-n}}{n} + \frac{p_M}{n} \quad (5)$$

El período seleccionado depende del tipo de movimiento de interés, tales como corto, mediano o largo plazo. En términos financieros, las medias móviles pueden ser interpretadas como un apoyo en un mercado alcista, o la resistencia en un mercado a la baja.

Por ejemplo, en la figura 4 se puede ver como una SMA dibuja una línea suavizada del precio. Nótese también el retraso con el que reacciona el sistema al aumentar los

periodos de cálculo y también cómo se puede tener una visión de la tendencia del mercado al dibujar varias medias móviles de distintos períodos.

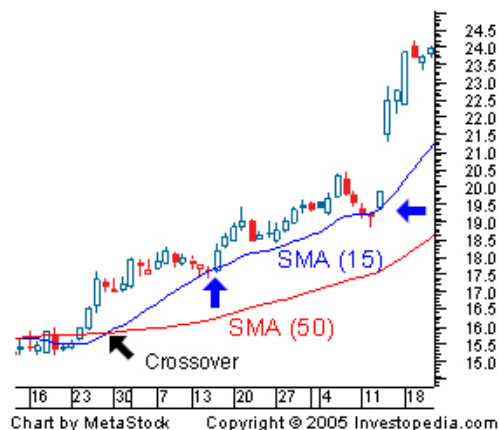


Figura 4. Ejemplo de dos curvas SMA, con diferente número de sesiones (15 para SMA corta o rápida y 50 para SMA larga o lenta).

Fuente: <http://www.investopedia.com>

Se puede observar que:

- A mayor periodo, mayor suavizado y reacción más lenta ante el movimiento del precio que es fácilmente identificable. Se puede observar como a mayor período la media móvil se aleja más del precio.
- Medias móviles más rápidas (menor período) sobre medias móviles más lentas (mayor período) indican un sentimiento del mercado alcista. En caso contrario indicarán una tendencia bajista.

2.1.4. MACD - Moving Average Convergence Divergence

La convergencia/divergencia de medias móviles (*Moving Average Convergence Divergence, MACD*) es uno de los indicadores más conocidos y usados en el análisis técnico de los mercados bursátiles. Es usado tanto para señalar la tendencia como para mostrar el ímpetu (momentum) del movimiento. Este indicador tiene tres componentes: el MACD, la Señal o Signal y el histograma

En pocas palabras, el *MACD* es un indicador tipo oscilatorio que muestra la distancia entre una media móvil exponencial (*EMA*) rápida y una media móvil exponencial lenta. O lo que es lo mismo, muestra la convergencia/divergencia de dos medias móviles exponenciales.

$$MACD = EMA(rápida) - EMA(lenta) \quad (6)$$

El primer promedio es un promedio rápido que es más sensible a los movimientos del precio al corto plazo y el segundo es un promedio de mediano plazo

El segundo componente es la Señal o *signal*, la cual corresponde al promedio móvil exponencial del MACD calculado anteriormente y se utiliza como señal para iniciar o cerrar una posición. Un valor usual es tomar n como 9 sesiones. Su fórmula es:

$$Señal = EMA(n, MACD) \quad (7)$$

Fórmula 1. Cálculo del componente Señal del indicador MACD

El tercer componente es el Histograma, el cual corresponde a la diferencia entre el MACD y la Señal y sirve como indicador para iniciar o cerrar una posición. Su fórmula es:

$$\text{Histograma} = \text{MACD} - \text{Señal} \quad (8)$$

Una vez calculados los tres componentes que proporciona el indicador MACD, la interpretación de dicho indicador se realiza como sigue:

MACD sobre 0: El histograma tiene valores positivos e indica que la EMA rápida es mayor que la EMA lenta. Como ya se comentó en el apartado de las medias móviles, esto indica tendencia alcista.

MACD bajo 0: Si la EMA rápida es menor que la EMA lenta, al hacer la diferencia el resultado tomará valores negativos quedando el MACD por debajo de 0. De forma análoga al caso anterior, la EMA rápida por debajo de la EMA lenta indica tendencia bajista.

Cruce del MACD del nivel 0: Si el MACD cruza el nivel 0 de abajo hacia arriba, indica que la EMA rápida ha pasado de ser menor que la EMA lenta a ser mayor, esto es, indica el cruce de las medias móviles y el cambio de tendencia de bajista a alcista. De igual forma, si el MACD cruza el nivel 0 de arriba hacia abajo, indica el cruce de la EMA rápida con la EMA lenta de arriba hacia abajo, esto supone un cambio de tendencia de al alza a tendencia a la baja.

En la figura 5 se puede ver cómo se comporta el histograma. Para una mejor interpretación se han añadido las EMAs correspondientes sobre el gráfico.



Figura 5. Ejemplo de cruces de MACD con el nivel 0.

Fuente: Artículos Forex <http://www.efxto.com>

Además del componente MACD del indicador, los otros dos componentes también proporcionan información para la interpretación del. Concretamente la componente Señal, es una media móvil simple calculada sobre la diferencia de las móviles (como se ha comentado anteriormente), es decir, una media móvil del valor del histograma. Por lo tanto, muestra el movimiento del histograma de una forma más suavizada y en conjunto con el histograma se tiene una de las formas comunes de tomar señales del MACD: el cruce del histograma y la línea señal. A continuación se verá ambos tipos de señales con más detalle.

Cruce de la línea de señal con MACD: la línea de señal, como se ha comentado, es una media móvil, por defecto de 9 periodos, sobre el MACD. El cruce de la línea de señal con el histograma informa de un posible cambio de tendencia de una forma más rápida que el cruce de las EMAs.

Por tanto, se tendrán dos posibilidades:

- El cruce se produce en aquel sentido en el que el histograma se hace mayor que la línea de señal. Este cruce indicaría una señal al alza.
- El cruce se produce en el sentido en el que el histograma se hace menor que la línea de señal. Este cruce proporciona una posible señal de venta.

En la figura 6 se puede ver un escenario ideal con las señales de cruce de la línea de señal con MACD:



Figura 6. Ejemplo de cruces de MACD con el componente Señal.

Fuente: Artículos Forex <http://www.efxto.com>

Otras de las posibilidades que ofrece el indicador MACD, para la predicción del comportamiento del mercado, es utilizar las divergencias alcista/bajista de dicho indicador. Para ello se observan las diferencias entre mínimos o máximos consecutivos respectivamente.

2.1.5. RSI - Relative Strength Index

El RSI es un indicador tipo oscilador que varía de 0 a 100 marcando zonas de sobrecompra y sobreventa. RSI son las siglas *Relative Strength Index*, que traducido es Índice de Fuerza Relativa. Fue desarrollado por J. Welles Wilder [10] y es uno de los osciladores más populares y usados en el análisis técnico y de gran utilidad. Sus valores se obtienen por comparación de las ganancias (movimientos al alza) frente a las pérdidas (movimientos a la baja) de sesiones anteriores (14 es el período recomendado por Wilder).

El indicador RSI se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$RSI = 100 - \frac{100}{1 + RS} \quad (9)$$

En donde para el período calculado se tiene que el RS es:

$$RS = \frac{\text{Ganancia media}}{\text{Pérdida media}} \quad (10)$$

Se ha considerado la ganancia media y la pérdida media como:

$$\text{Ganancia media} = \frac{(\text{Ganancia media previa}) \cdot (n - 1) + \text{Ganancia actual}}{n} \quad (11)$$

$$\text{Pérdida media} = \frac{(\text{Pérdida media previa}) \cdot (n - 1) + \text{Pérdida actual}}{n}$$

Fórmula 2. Fórmulas para el cálculo de la Ganancia y Pérdida media

La primera ganancia media de la serie es la media aritmética de las n sesiones anteriores. Al igual que para la ganancia, la primera pérdida media es la media aritmética de las n sesiones anteriores (siendo n el número de sesiones empleadas para el cálculo del indicador RSI).

Al igual que con el Average True Range, el cálculo es sensible a la cantidad de datos históricos de que se disponga pues, como se aprecia en la fórmula 10, el primer dato no se calcula del mismo modo que los siguientes. El primer cálculo del RS es una media aritmética de las ganancias o pérdidas totales mientras que los siguientes cálculos se realiza tomado la media anterior. Esta es la técnica de suavizado usada por Wilder en casi todos los indicadores que desarrolló.

De la fórmula del RS se deduce que cuando la ganancia media es mayor que la pérdida media el RSI aumentará pues el la ratio ganancia/pérdida es mayor que 1, mientras que el RSI disminuirá en el caso contrario ya que e cociente es menor a 1.

Una vez obtenido el RS se obtiene el RSI por conversión del resultado a escala 0 - 100. Hay que observar que en caso de que la pérdida llegue a ser cero el RSI es igual a 100 por definición.

Como se ha comentado anteriormente, este indicador proporciona información sobre zonas de sobrecompra o sobreventa. Para poder interpretar dichas zonas, Wilder recomendó usar los niveles 70 y 30 como umbrales para detectar situación de sobrecompra y sobreventa. Generalmente, si el RSI sube por encima de 70 desde abajo se considera que el instrumento operado está en fase alcista. Por el contrario, estará entrando en fase bajista si cae por debajo del nivel 70 desde arriba. Esto se debe a que si el RSI se encuentra por encima de 70 se dice que se está en sobrecompra y si el RSI está por debajo de 30 se estaría en sobreventa. En la figura 7 se puede apreciar un ejemplo de las dos situaciones comentadas



Figura 7. Ejemplo de zonas de sobrecompra y sobreventa proporcionadas por el indicador RSI.

Fuente: RSI - Relative Strength Index o Índice de Fuerza Relativa | Análisis Técnico. Artículos Forex <http://www.efxto.com>

Otra forma de interpretar el indicador RSI, como en otros tantos osciladores, es analizar las divergencias Precio/RSI, tanto positivas como negativas. Entre el RSI y el precio se pueden generar señales de compra y venta.

- **Divergencia alcista:** Ocurre cuando el precio hace un mínimo menor al mínimo anterior mientras que el RSI hace un mínimo mayor al mínimo anterior. La divergencia alcista es una señal de entrada en largo (compra).
- **Divergencia bajista:** se da cuando en el precio se observa un máximo mayor al máximo anterior y en el RSI se observa un máximo menor al máximo anterior. La divergencia bajista es una señal de venta.

En la figura 8 se puede apreciar un ejemplo de divergencia alcista. En este caso el precio registra mínimos sucesivamente menores (*lower costs*) mientras que el RSI se mueve al alza registrando mínimos sucesivamente mayores (*higher costs*).



Figura 8. Ejemplo de divergencia alcista.

Fuente: RSI - Relative Strength Index o Índice de Fuerza Relativa | Análisis Técnico. Artículos Forex <http://www.efxto.com>

2.2. Gestión del capital

La gestión de capital uno de los conceptos más importantes y menos entendidos por los *traders* u operadores que si no lo conocen bien, no consiguen triunfar en los mercados. No se trata de control del riesgo ni de diversificación ni *stoploss*.

La gestión de capital indica cuántas acciones o contratos comprar y que parte del capital se debe arriesgar en la siguiente operación.

Cada vez que se introduce una operación se han tomado dos decisiones. No solamente se ha decidido si comprar o vender (en largo o en corto), también se ha escogido la cantidad con la que operar, es decir, con qué número de contratos se va a entrar en el mercado. La mayoría de los inversores ignoran la importancia que tiene esta última decisión acerca de la cantidad. Sin embargo la decisión que concierne a la cantidad a arriesgar en una operación es tan importante como la decisión de comprar o vender.

Mientras un sistema de especulación indica qué operar y cuándo, una estrategia de gestión de capital indica cual es la cantidad adecuada en cada operación.

Las preguntas más habituales que todo *trader* se plantea antes de comenzar a estudiar e implementar una estrategia basada en la gestión de capital son:

¿Por qué es tan importante que la cantidad arriesgada sea la correcta?

Para contestar a esta pregunta se va a dividir en dos partes:

- Primeramente se verá el caso de un sistema que pierde dinero a largo plazo. Evidentemente mientras se opera con este sistema no se sabe que pierde dinero porque en caso contrario no se operaría. La sucesión de pérdidas indica que algo va mal y que el riesgo

debería reducirse tras cada nueva operación perdedora, para así poder preservar capital con el objeto de usarlo cuando vengan operaciones ganadoras. Si estas operaciones ganadoras no llegan, entonces el trading debe abandonarse y replantearse la metodología de inversión. El capital restante en este momento será función de la cantidad que se arriesgó cuando se hicieron las operaciones perdedoras. Si se arriesgó demasiado, es muy probable que el capital quede reducido a una cantidad inoperable. Por tanto, incluso con un sistema perdedor se debería controlar el riesgo al máximo para poder seguir en el mercado y recuperar las posibles pérdidas

- La segunda opción es ver el impacto del cálculo correcto de la posición en un sistema ganador. Un sistema ganador lo es a largo plazo como consecuencia de la suma positiva de operaciones con ganancias y pérdidas, ya que no existe sistema que acierte el 100% de las ocasiones. En un sistema ganador, si se arriesga más de la cuenta en una operación y ésta resulta ser una pérdida, se estaría “modificando” el sistema de forma que podría convertirse en un sistema perdedor, debido a una mala gestión de capital. Por tanto se tiene, que incluso en un sistema ganador, si no se controla el riesgo (capital a invertir en cada operación) podría convertirse en un sistema perdedor, y por otro lado, si se arriesga la cantidad correcta en función de los resultados obtenidos, se podría conseguir un crecimiento geométrico de los beneficios.

¿Realmente importa tanto operar de forma óptima?

Depende de la cantidad de operaciones que se haga. Por lo general a partir de la operación número 20 la estrategia de fracción óptima es superior a todas las demás y es cuando se empiezan a notar diferencias abismales en el resultado final. En la figura 9 se muestran las operaciones de 4 inversores aplicando diferentes estrategias de Gestión de Capital a las mismas operaciones. La línea roja representa una estrategia óptima y el capital final obtenido es más del doble que con la estrategia de arriesgar siempre un 2% del capital total (línea verde), esto último muy habitual en un gran número de traders.

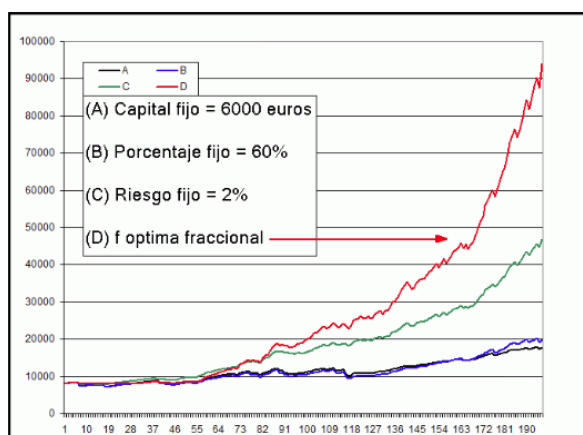


Figura 9. Gráfica comparativa entre diferentes métodos de gestión de capital.

Fuente: <http://www.rankia.com>

A la hora de invertir en los mercados hay cientos de variables que pueden provocar un resultado negativo. Sólo unas pocas de estas variables se pueden controlar, como por ejemplo el momento de entrar en el mercado (*timing*) o la cantidad adecuada de capital a arriesgar acorde con la estrategia que se esté utilizando. Puesto que el éxito no está asegurado, la cantidad a arriesgar determina el resultado final de una serie de operaciones.

¿Puede la Gestión de Capital asegurar una ganancia?

La Gestión de Capital se basa en la premisa de partir de un esquema ganador a largo plazo, es decir, que en promedio se gane más que lo que se pierda. Si un inversor no dispone de una aproximación ganadora entonces no hay ninguna estrategia de gestión de capital que le haga ganar dinero, cuanto más, suavizará las pérdidas en comparación con otra estrategia no basada en la gestión de capital. La única forma de ganar dinero con una estrategia perdedora es retirándose a tiempo tras estar en ganancia.

¿Son independientes las operaciones bursátiles?

Por dependencia se entiende que el resultado de una operación anterior va a influir en la siguiente. En general las operaciones bursátiles son independientes entre sí. Existe a veces algo de dependencia entre las variaciones de los precios, pero es algo puntual.

¿Se puede ganar en los mercados a “cara o cruz”?

Curiosamente las estrategias seguidoras de tendencia tienen un porcentaje de aciertos en torno al 40%. A simple vista parece que si se lanza una moneda se conseguiría mejores resultados. Sin embargo cuando se trata de cuantificar la bondad de un método o aproximación de mercado no sólo hay que tener en cuenta el porcentaje de aciertos, sino también lo que se gana cuando se acierta y lo que se pierde cuando se falla. La solución la proporciona la expectativa.

¿Qué es la expectativa?

La expectativa es la ganancia esperada por cada unidad que se arriesga. Si se supone un sistema con un 90% de aciertos, que en las operaciones ganadoras obtiene un promedio de 200 euros y en las perdedoras un promedio de 1500 euros, en media ese sistema proporcionaría:

$$0,90 \cdot 200 - 0,10 \cdot 1500 = 30 \text{ € por operación}$$

Esa es la expectativa del sistema. Como se puede ver no es cuestión de ganar mucho ni de acertar mucho, sino de que la combinación de los dos parámetros resulte positiva. Por ejemplo, en un típico sistema seguidor de tendencias (porcentaje de aciertos del 40% y cuando se acierta se gana el triple de lo que se pierde cuando se falla), la expectativa será:

$$Expectativa = 0,40 \cdot 3 - 0,60 \cdot 1 = 0,6$$

La expectativa es de 60 céntimos por cada euro que se arriesga. Un buen sistema tiene una expectativa de 0.5 o superior.

Para poder aplicar Gestión de Capital a un sistema es necesario que este sistema tenga expectativa positiva.

¿Cuál es la clave para que el capital crezca de forma rápida y constante?

Para que el capital crezca de forma sostenida, es muy importante que las disminuciones de la curva de capital o DrawDowns (DD) sean lo menos profundas posible. El DrawDown (DD) se podría definir como el máximo consecutivo de operaciones perdedoras y por ello es equivalente tener muchas pérdidas pequeñas o tener pocas pérdidas pero elevadas. Por tanto, en sistemas que acierten poco (seguidores de tendencia) se seguirá una diversificación adecuada ya que estos sistemas deben “encontrar” la operación que compense las pérdidas tras un 60% (o más) de operaciones negativas.

En los sistemas con alto porcentaje de aciertos no se necesita diversificar tanto ya que lo más probable es que la siguiente operación sea ganadora, pero hay que tener especial precaución para que las pocas pérdidas no arruinen un número demasiado elevado de operaciones con ganancias.

¿Qué es una estrategia de cobertura de capital?

Se basa en proteger el capital si las operaciones no van bien. Es una buena manera de probar una metodología de inversión sabiendo de antemano el capital restante en el peor de los casos. Por ejemplo, si se supone un *trader* que comienza a operar con 100.000 euros y no quiere que su cartera caiga por debajo de 70.000, este operador debería adoptar una sencilla estrategia de gestión de capital consistente en operar con la mitad de su riesgo disponible. En este caso arriesgará $0.5 * 30.000 = 15.000$ euros en la próxima operación.

Si su cartera cae hasta tener una valoración de 80.000 euros este trader sólo puede arriesgar ahora 5000 euros $[(80.000-70.000) * 0.5]$. De esta forma se estaría “aplanando” la curva de capital y sólo se arriesgaría dinero cuando se tiene y las operaciones van bien. Esta estrategia se basa en que teóricamente nunca se llegaría al límite de 70.000 euros por tener que asumir un número infinito de divisiones del capital.

Si el *trader* opera correctamente y su cartera alcanza una valoración de 200.000 euros ahora ya podría arriesgar hasta 65.000 y también puede subir el límite inferior para asegurarse que siempre queda en ganancias.

Como conclusión, se ha podido observar, que no sólo importa cuándo y qué comprar, sino que hay que saber cuánto se va a invertir.

Por eso se van a revisar algunas estrategias de gestión de capital para luego proponer una basada en técnicas de la Inteligencia Artificial, en concreto incorporando la lógica *fuzzy*.

2.2.1. F-Óptima

La solución propuesta por R. Vince en [8] proporciona un método para calcular la cantidad exacta a invertir que produce un crecimiento geométrico de los beneficios

Respecto a su formulación matemática, Vince parte de dos conceptos:

- **HPR** (*Holding Period Return*), que es el factor de retorno para cada operación. Por ejemplo, para una ganancia del 3%, $HPR = (1+3/100) = 1,03$, y para una pérdida del 3%, $HPR = (1-3/100) = 0,97$.

$$HPR = 1 + \frac{\% \text{ ganancia}}{100} \quad \text{ó} \quad HPR = 1 - \frac{\% \text{ pérdida}}{100} \quad (12)$$

- **TWR** (*Terminal Wealth Relative*) o riqueza relativa final de todos los HPRs:

$$TWR = (HPR_1 \cdot HPR_2 \cdot \dots \cdot HPR_n) \quad (13)$$

Siendo la media geométrica (GM, *Geometric Mean*) de la serie:

$$GM = TWR^{1/n} \quad (14)$$

Si lo que se requiere es encontrar un valor óptimo de f , entonces es necesaria una fracción (f) para cada operación que maximice el valor de la media geométrica, con lo que se tiene:

$$TWR(f) = (HPR_1(f) \cdot HPR_2(f) \cdot \dots \cdot HPR_n(f))$$

y (15)

$$HPR(f) = 1 + \frac{f * PL}{R}$$

Siendo:

(f) = fracción a invertir.

PL = (*profit / loss*), ganancia o pérdida neta de cada operación.

R = (*Risk factor*), como por ejemplo, la peor operación de la serie.

Para poder entenderlo mejor, a continuación se ilustra con un pequeño ejemplo:

- Secuencia P/L de cuatro operaciones: 250, -300, -50, 400
- Valores de (f) : 5%, 10%, 20% ... 100%
- $R = \text{ABS}(-300) = 300$

$$TWR(5\%) = \left(1 + 0,05 \cdot \frac{250}{300}\right) \cdot \left(1 + 0,05 \cdot \frac{-300}{300}\right) \cdot \left(1 + 0,05 \cdot \frac{-50}{300}\right) \cdot \left(1 + 0,05 \cdot \frac{400}{300}\right) = 1,036$$

$$GM = TWR^{1/n} = 1,036^{1/4} = 1,014$$

$$TWR(10\%) = 1,079$$

$$TWR(20\%) = 1,127$$

$$TWR(30\%) = 1,159$$

$$TWR(40\%) = 1,142$$

$$TWR(50\%) = 1,079$$

$$TWR(60\%) = 0,97$$

$$TWR(70\%) = 0,805$$

$$TWR(80\%) = 0,596$$

$$TWR(90\%) = 0,327$$

$$TWR(100\%) = 0$$

Como se puede ver en este pequeño ejemplo, con una $f = 30\%$ se obtiene el mejor TWR, el cual maximiza también el valor de la media geométrica ($GM = 1,0607$) y, en consecuencia, el crecimiento de la curva de beneficios.

Ahora bien, aunque esa 'F' sea óptima desde el punto de vista del incremento del *Equity Curve*, entendiendo como tal aquella curva que representa gráficamente la variación de una cuenta en un período de tiempo ¿qué ocurre con el riesgo a medida que se aumenta el valor de la fracción de capital apostado?

Antes de responder a esa pregunta, es necesario observar la figura 10:

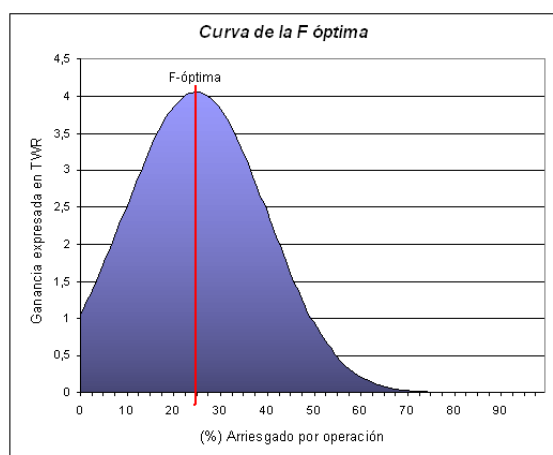


Figura 10. Curva de la F óptima

La curva representa el ratio incremento/decremento de la ganancia potencial de un sistema para diferentes valores de la variable F, es decir, para el porcentaje arriesgado en cada operación. El vértice de la curva es la fracción óptima. Todos los puntos a la izquierda de la campana indican una ganancia progresiva de los beneficios para distintas fracciones de capital, pero en los cuales la ganancia disminuye según se minimiza el riesgo. Por el contrario, los puntos situados a la derecha de la f -óptima no sólo minimizan las ganancias, sino que además, aumentan el riesgo asumido en cada operación. Tan sólo en el punto indicado por la f -óptima, se obtiene un crecimiento geométrico de los beneficios minimizando el riesgo.

En base a este pretendido crecimiento de los beneficios, algunos autores se empeñan en afirmar que, incluso con un sistema con leve esperanza matemática, bastará para obtener resultados sorprendentes al aplicar la fracción de Vince.

Se considera un hecho fuera de toda duda que todos los sistemas se degradan con el tiempo y, desde luego, los que se asientan en una esperanza muy baja, más deprisa todavía. Por tanto, aplicar la fracción óptima en estos casos acelerará el quedarse fuera del mercado. Ante esta situación, son muchos quienes apuestan por una **F segura**, muy por debajo de las expectativas de un crecimiento 'matemáticamente' óptimo.

A continuación se presentan algunas alternativas:

- **Optimal F al 10%** de la fracción óptima. Se trata simplemente de dividir por 10 el resultado de la f-óptima obtenido, o lo que es lo mismo, aplicar la f-óptima sobre el 10% del capital disponible.
- **Secure F**. Esta es la solución elegida por Stendahl y Zamansky en [11]. Básicamente, se trata de limitar el valor de F a un nivel de *drawdown* consecuente con el nivel de aversión al riesgo que se quiera asumir. Esto se obtiene aplicando un proceso iterativo a diferentes valores de F que satisfagan un valor diana para el DD, o mejor aún, que permitan obtener un valor del ratio Retorno / DD aceptable.
- **Montecarlo Secure F**. Aproximación del valor idóneo de F mediante una simulación de Montecarlo al 95% de confianza; añadiendo, adicionalmente, en el proceso de búsqueda alguna limitación en el valor del DD máximo. Aunque ésta es la opción más compleja (y, obviamente, resulta imposible de calcular sin un software específico) resulta la que mejores garantías ofrece.

2.2.2. Otros sistemas de gestión del capital

Fórmula de Kelly

Se trata de la estrategia más antigua. Fue introducida por John L. Kelly en 1956 [7]. La fórmula determina la fracción de capital a arriesgar en cada operación, como una función de las probabilidades de operaciones ganadoras y perdedoras y del *Payoff* (rentabilidad media por operación). La fórmula de Kelly se enuncia en (16):

$$K = p - \frac{q}{\text{Payoff}} \quad (16)$$

El payoff se obtiene mediante (17):

$$\text{Payoff} \equiv \frac{\text{Avg Win}}{\text{Avg Loss}} \equiv \frac{\frac{\sum_{i=1}^n \text{Operaciones ganadoras}}{\text{Número operaciones ganadoras}}}{\frac{\sum_{i=1}^n \text{Operaciones perdedoras}}{\text{Número operaciones perdedoras}}} \quad (17)$$

Siendo:

K = Fracción del capital arriesgada en la siguiente operación.

P = Probabilidad de operaciones ganadoras
 Q = Probabilidad de operaciones perdedoras

Avg Win = Ganancia media obtenida por operación

Avg Loss = Pérdida media obtenida por operación

Fixed fraction

Este método fue introducido por Ralph Vince [8], y es la base del resto de algoritmos modernos de gestión monetaria. El resto de estrategias se fundamentan en ésta, introduciendo algunas modificaciones, algunas de ellas con sustanciales mejoras como el Fixed-Ratio de Ryan Jones [9].

Para entender este método, se va a explicar a través de un ejemplo. Supongamos que se parte de un capital inicial de 100.000 € y que el drawdown máximo del sistema con un contrato es de 4.000€. Debido a la aversión al riesgo que se quiere asumir no se está dispuesto a tolerar una pérdida superior al 10% (fracción sobre el total del capital). Para que se cumplan dichas condiciones se debe aumentar un contrato por cada $4.000\text{€}/0,1=40.000\text{€}$. Es decir, el cálculo para Delta (Fixed fraction) utilizando el máximo DD es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Delta Inicial (Delta Variable)} &= \frac{\text{DrawDown máximo}}{\text{Fracción arriesgada}} \\ \text{DrawDown máximo} &= 4.000 \text{ €} \\ \% \text{arriesgado en cada operación} &= 10\% \\ 4.000 \text{ €}/0,1 &= 40.000 \text{ € por cada contrato o Delta} \\ \text{Capital inicial} &= 100.000 \text{ €} \end{aligned} \tag{18}$$

El siguiente desarrollo muestra los mismos cálculos pero partiendo de la utilización de la máxima pérdida en vez del máximo *Drawdown*, lo que ofrece una estrategia con un Delta menor, o dicho de otro modo, una estrategia más agresiva.

Se va a definir el Delta como la generación monetaria por contrato necesaria para saltar al siguiente nivel de contratos. Como se observa en la escala de contratos según la fórmula 19, si se opera con 4 contratos, para pasar al siguiente nivel se tienen que generar 5.000 €, y la generación monetaria por contrato será de 1.250€. En esta escala, el *Fixed-Fraction*, utiliza un Delta variable decreciente para su desarrollo. Esta es la principal diferencia con el Fixed-Ratio, que utiliza un Delta fijo, como se podrá observar en el punto del Fixed-Ratio que se muestra en el siguiente subapartado.

$$\begin{aligned} \text{Delta Inicial (Delta Variable)} &= \frac{\text{Máxima pérdida}}{\text{Fracción arriesgada}} \\ \text{Máxima pérdida} &= 500 \text{ €} \\ \% \text{arriesgado en cada operación} &= 10\% \\ 500 \text{ €}/0,1 &= 5.000 \text{ € por cada contrato o Delta} \\ \text{Capital inicial} &= 100.000 \text{ €} \end{aligned} \tag{19}$$

La escala de contratos según la fórmula 19 del *Fixed-Fraction* sería:

Entre [100.000€ - 104.999€] se opera con 1 contrato Delta de 5.000€.
 Entre [105.000€ - 109.999€] se opera con 2 contratos. Delta de 2.500€.
 Entre [110.000€ - 114.999€] se opera con 3 contratos. Delta de 1.667€.
 Entre [115.000€ - 119.999€] se opera con 4 contratos. Delta de 1.250€.
 Entre [120.000€ - 124.999€] se opera con 5 contratos. Delta de 1.000€.

Con el mismo procedimiento anterior se continuaría calculando las escalas sucesivas de contratos.

Fixed-Ratio

Esta estrategia fue desarrollada por Ryan Jones [9] y su origen está en los trabajos de investigación del autor para mejorar el *Fixed-Fraction*, sobre todo para mejorar el ratio Rentabilidad/Riesgo de dicha estrategia. La principal diferencia está en el desarrollo de una estrategia con Delta fijo. El Delta es la única variable con la que cuenta este modelo, y determinará su grado de agresividad. No existe un Delta óptimo, aunque se recomienda utilizar un Delta neutro, que será la mitad del *Drawdown* máximo obtenido, y a raíz de ello, si se utiliza un Delta inferior al neutro se obtendrá un sistema más agresivo. Por el contrario, si se utiliza un Delta mayor al neutro se obtendrá un modelo más conservador.

Como en el caso anterior, para entender mejor este método, se ilustrará con un ejemplo, utilizando unos datos iniciales similares a los empleados en el ejemplo del *Fixed-Fraction*, para observar la diferencia entre ambas estrategias.

Se supone que se parte de un capital inicial de 100.000€ y que el *Drawdown* máximo del sistema con un contrato es de 10.000€. Se utiliza un Delta neutro de 5.000 €. En la escala de contratos se puede ver cómo para pasar al siguiente nivel de contratos, el Delta es fijo y ahora el crecimiento de la cuenta es más rápido. Por ejemplo para pasar de 4 a 5 contratos se tiene que generar $4 \times 5.000 \text{ €} = 20.000 \text{ €}$. Se pueden observar las diferencias, comparando esta escala con la correspondiente del *Fixed-Fraction*.

$$\text{Delta Inicial (Delta Fijo)} = \frac{\text{DrawDown máximo}}{2}$$

$$\text{DrawDown máximo} = 10.000 \text{ €} \quad (20)$$

$$10.000 / 2 = 5.000 \text{ por cada contrato}$$

$$\text{Capital inicial} = 100.000 \text{ €}$$

La escala de contratos según la fórmula (20) del Fixed-Ratio sería:

Entre [100.000€ - 104.999€] se opera con 1 contrato Delta de 5.000€.
 Entre [105.000€ - 114.999€] se opera con 2 contratos. Delta de 5.000€.
 Entre [115.000€ - 129.999€] se opera con 3 contratos. Delta de 5.000€.
 Entre [130.000€ - 149.999€] se opera con 4 contratos. Delta de 5.000€.
 Entre [150.000€ - 174.999€] se opera con 5 contratos. Delta de 5.000€.

Al igual que en el caso anterior, siguiendo este procedimiento se continuaría calculando las escalas sucesivas de contratos.

Regla del 2%

Esta no es una estrategia en sentido estricto, ya que se trata de una variante del *Fixed-Fraction* de Ralph Vince, en la que la fracción seleccionada es muy pequeña. Es

decir, se sitúa en un punto en el que se deja llevar por la aversión al riesgo y se opta por una estrategia muy conservadora. La forma de aplicar la regla del 2% es la siguiente:

Si se parte con un capital de 100.000€ y se toma una posición en el mercado, la máxima pérdida posible (*stoploss*) que generará esta operación será de 2.000 €, independientemente del tamaño de la posición adoptada. Generalmente estas fracciones tan bajas se asocian a las utilizadas por gestores de carteras y patrimonios.

En definitiva, es un método muy seguro, pero con un crecimiento geométrico muy limitado, sobre todo para cuentas pequeñas.

En este capítulo se han presentado diversas estrategias para la gestión del capital, describiendo brevemente en qué consisten y las características que poseen. Como se verá en capítulos posteriores, y como se ha comentado brevemente en el capítulo de introducción de esta memoria, para la implementación del presente trabajo se ha utilizado un sistema de gestión de capital basado en la *f*-óptima de Vince.

Capítulo 3. Lógica difusa

3.1. Introducción

La lógica borrosa o difusa (*fuzzy logic*) fue introducida por Lofti A. Zadeh en 1965 [12], siendo profesor de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Berkley, y desde esa fecha se ha utilizado como una herramienta muy eficiente para el control de sistemas y procesos complejos, ya que los sistemas borrosos permiten modelar sistemas no lineales, y aprender de los datos haciendo uso de determinados algoritmos de aprendizaje.

La teoría de conjuntos borrosos parte de la teoría clásica de conjuntos, donde la función de pertenencia al conjunto se define como un número real entre 0 y 1. Así se introduce el concepto de conjunto o subconjunto borroso asociado a un determinado valor lingüístico, definido por una palabra, adjetivo o etiqueta lingüística A . En un conjunto o subconjunto borroso se define la función de pertenencia o inclusión $\mu_A(x)$, que indica el grado en que la variable x participa del concepto representado por la etiqueta lingüística A . Como puede verse en la figura 11, para la variable lingüística *estatura_de_persona* podrían representarse tres conjuntos borrosos, cada uno identificado por una etiqueta: {Bajo, Medio, Alto}, y con una función de pertenencia $\{\mu_{\text{Bajo}}(t), \mu_{\text{Medio}}(t), \mu_{\text{Alto}}(t)\}$ que admite diversas formas (situadas en la figura a la izquierda, centro y derecha respectivamente).

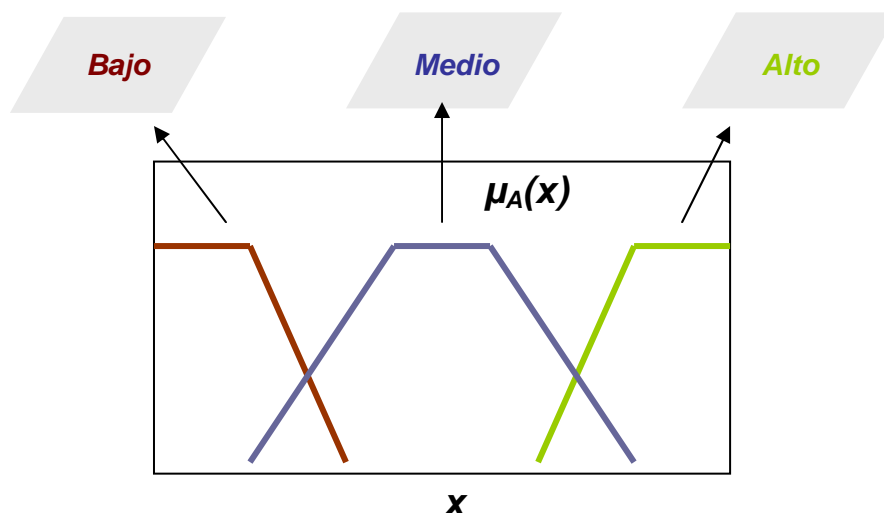


Figura 11. Ejemplo de conjuntos borrosos para la variable *Estatura*

Los conjuntos borrosos permiten agrupar objetos o sucesos según el valor de una cierta magnitud; pero considerada de forma “vaga” o imprecisa. Por ejemplo, las personas pueden estar agrupadas por su altura. Así, si se define el conjunto clásico de personas de estatura baja como las que miden menos de 1,65 metros, resulta que alguien de 1,64 metros es bajo, mientras que alguien de 1,66 no lo sería. Esta descripción que proporciona la teoría clásica de conjuntos no resulta plenamente satisfactoria ya que la estatura de esas personas sólo difieren en 2 cm, y sin embargo la consideración de su altura es radicalmente distinta. Sin embargo, una descripción en términos borrosos podría ser más adecuada. Por ejemplo, definiendo los términos bajo, medio y alto, mediante funciones de pertenencia o inclusión, que al variar de forma continua en el rango de 0 a 1 (como se aprecia en la figura anterior) indican el grado en el que una persona es baja (si mide entorno a 1.0 m.), algo baja y algo media si midiera 1.25 m, o algo medio y algo alta si midiera 1.80 m, etc. Conjuntos borrosos

En los conjuntos clásicos algo está incluido o pertenece completamente en él o no lo está en absoluto. Esta situación puede describirse asignando un 1 a todos los elementos que pertenecen al conjunto y un 0 a los no incluidos en él. A la función que asigna estos valores se denomina función de pertenencia (*membership function*).

Sea U un conjunto de objetos, por ejemplo, $U = \mathfrak{R}^n$, que se denomina universo de discurso. En términos matemáticos, un conjunto borroso F en U queda caracterizado por una función de inclusión μ_F que toma valores en el rango $[0,1]$, es decir, $\mu_F : U \rightarrow [0,1]$; donde $\mu_F(u)$ representa el grado en el que $u \in U$ pertenece al conjunto borroso F . Esto representa la generalización del concepto clásico de conjunto (abrupto), en el que la función de pertenencia toma solamente los valores 0 ó 1; por el contrario, para un conjunto borroso puede tomar también valores intermedios. En la figura 12 se puede apreciar una comparativa de funciones de inclusión de conjuntos clásicos y borrosos para edad adulta. Si se observa la gráfica de la izquierda, una persona de 25 años, en términos clásicos, habría que definirla como adulta: en términos borrosos (derecha) podría decirse que se incluye en aproximadamente un 0,5 (50%) al conjunto de edad adulta.

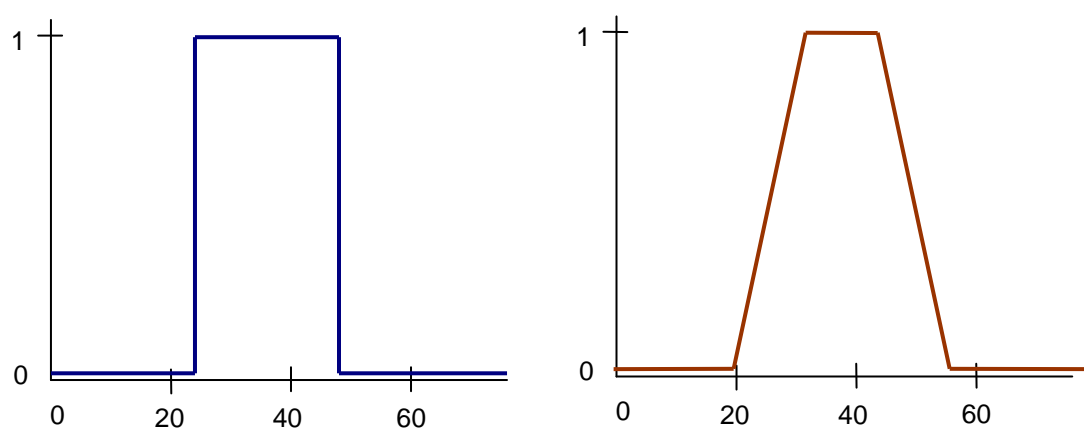


Figura 12. Funciones de pertenencia de conjuntos clásico (izquierda) y borroso (derecha) para edad adulta.

Dado un cierto conjunto borroso F , se definen los siguientes términos. El *conjunto soportado* es el conjunto (clásico) de todos los valores de U para los que $\mu_F(u) > 0$. Los *puntos de cruce* son aquellos valores para los que $\mu_F(u) = 0,5$. Se dice que un conjunto borroso es de tipo *singleton* si su conjunto soportado es de un solo valor.

Asimismo, se denomina conjunto α -corte F_α de un conjunto borroso F , al conjunto clásico de todos los puntos de u de U para los que se cumple $\mu_F(u) > \alpha$. Por otro lado, se dice que un conjunto borroso está *normalizado* si el máximo de su función de inclusión es 1; obviamente, un conjunto borroso puede *normalizarse* multiplicando su función de inclusión por un coeficiente fijo para que sea de tipo normalizado. Lo habitual es trabajar siempre con conjuntos borrosos normalizados.

En la figura 13 se muestran todos los términos descritos anteriormente:

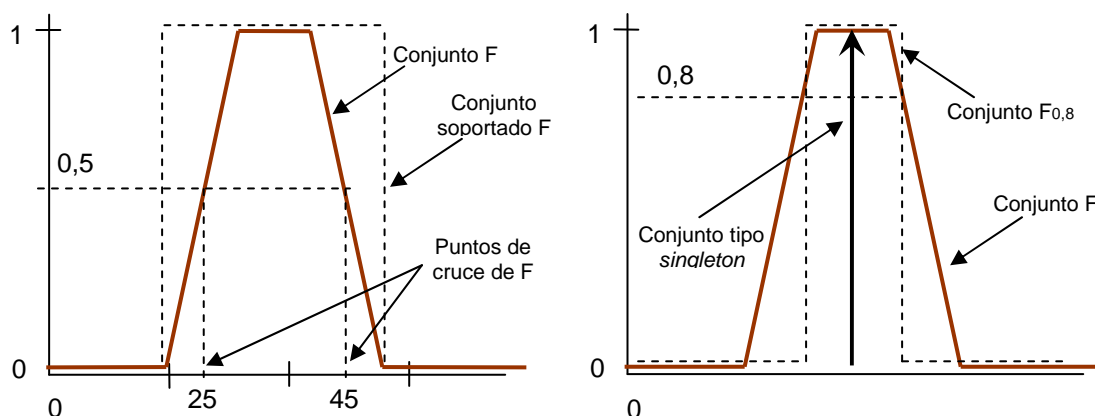


Figura 13. Términos relativos a los conjuntos borrosos

3.2. Funciones de pertenencia de conjuntos borrosos

La función de inclusión o pertenencia (membership function) de un conjunto borroso consiste en un conjunto de pares ordenados $F = \{(u, \mu_F(u)) / u \in U\}$ si la variable es discreta, o una función continua si no lo es. Como ya se ha comentado, el valor de $\mu_F(u)$ indica el grado en que el valor de u de la variable está incluida en el concepto representado por la etiqueta F . Para la definición de estas funciones de pertenencia se utilizan convenientemente ciertas familias de formas estándar, por coincidir con el significado lingüístico de las etiquetas más utilizadas. Las más frecuentes son la función de tipo trapezoidal, singleton, triangular, S, exponencial y tipo π .

En la implementación de este trabajo se usará, como se verá más adelante cuando se describa la borrosificación de los indicadores bursátiles, la función de tipo triangular T, por lo que tan sólo se describiré ésta como un caso límite de la función trapezoidal:

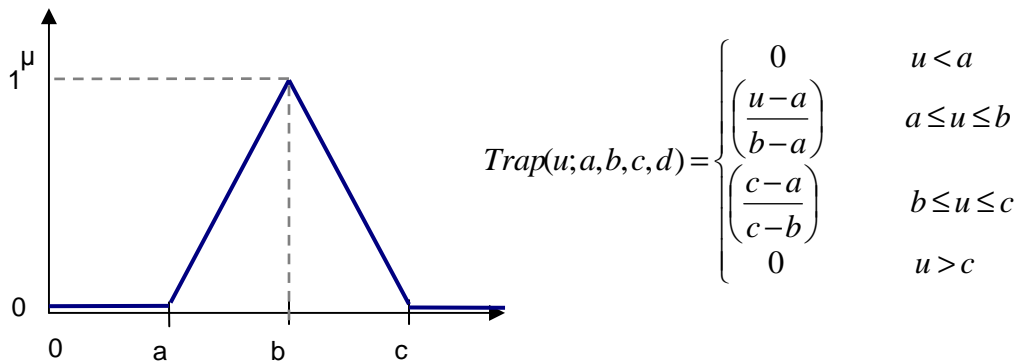


Figura 14. Función de tipo T (triangular)

Esta función es adecuada para modelar propiedades con un valor de inclusión distinto de cero para un rango de valores estrecho entorno a un punto b .

3.3. Medidas borrosas

Dado un conjunto borroso A, se definen ciertas magnitudes medibles del conjunto, que se conocen como medidas borrosas. Una de las principales es la “borrosidad” o *fuzzyness*. Si se llama C al conjunto discreto de los valores x en los que $\mu_A(x) > 0$, la borrosidad indica la distancia de A al conjunto discreto C. En otras palabras, la magnitud borrosidad mide cuál es el grado de borrosidad de un conjunto.

Por otro lado, la distancia entre dos conjuntos borrosos, A y C se puede definir utilizando diversas medidas, Las más frecuentes son las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Hamming} & \quad f(A) = \sum | \mu_A(x) - \mu_C(x) | \\ \text{Eucídea} & \quad f(A) = (\sum (\mu_A(x) - \mu_C(x))^2)^{1/2} \\ \text{Minkowski} & \quad f(A) = (\sum (\mu_A(x) - \mu_C(x))^w)^{1/w} \text{ con } w \in [1, \infty] \end{aligned} \tag{21}$$

Otra medida que puede definirse es la similitud, la cual mide el parecido entre dos conjuntos, y en su forma básica es una extensión de la distancia entre conjuntos. Por

su parte, la entropía borrosa informa sobre cuánta información aporta este conjunto a la descripción de la variable x . Se define para un conjunto borroso A como:

$$f(A) = -\sum \{\mu_A(x) \log \mu_A(x) + [1 - \mu_A(x)] \log [1 - \mu_A(x)]\}$$

3.4. Fuzzyficación o borrosificación

El borrosificador establece una relación entre puntos de entrada no borrosos al sistema $x = (x_1, \dots, x_n)^T$, y sus correspondientes grados de pertenencia a los conjuntos borrosos A en U (las variables procedentes del exterior serán, en general, valores no borrosos, y habrá que borrosificarlas previamente). Se pueden utilizar diversas estrategias de borrosificación:

- a) **Singleton o Mamdani.** Es el método de borrosificación más utilizado, principalmente en un sistema de control, y consiste en considerar los propios valores discretos como conjuntos borrosos. Es decir, para cada valor de entrada x se define un conjunto A' que lo soporta, con función de pertenencia $\mu_{A'}(x')$, de modo que $\mu_{A'}(x)=1, (x'=x)$, y $\mu_{A'}(x')=0$, para todos los otros $x' \in U$ en los que $x' \neq x$.
- b) **No singleton.** Este método utiliza una función exponencial con forma de campana, centrada en el valor x de entrada, de anchura σ y amplitud a

$$\mu_{A'}(x') = a \cdot \exp \left[- \left(\frac{x' - x}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (23)$$

3.5. Evaluación de reglas

Las reglas borrosas combinan una o variables borrosas de entrada, llamadas antecedentes o premisas, y les asocian un conjunto borroso de salida, llamado consecuente o consecuencia. Los conjuntos borrosos de la premisa se asocian mediante conjuntivas lógicas como *y*, *o*, etc. Una regla típica, de tipo *if-then*, para un sistema de control sería “**Si** error **es** positivo_pequeño **y** derivada_de_error **es** negativo_pequeño **entonces** acción **es** positiva_pequeña”, que se suele expresar abreviadamente mediante expresiones del tipo “**Si** E **es** PP **y** dE **es** NP **entonces** U **es** PP”.

Las reglas borrosas permiten representar el conocimiento del que se dispone sobre la relación entre antecedentes y consecuentes. Para expresar este conocimiento de forma completa normalmente se precisa de varias reglas, que se agrupan formando lo que se conoce como una base de reglas, es decir, el conjunto de reglas que expresan las relaciones conocidas entre premisas y conclusiones.

La base de reglas se puede representar bien como una tabla de las reglas que la forman, o bien como una memoria asociativa borrosa o FAM (Fuzzy Associative Memory). Las FAM son matrices que representan el consecuente de cada regla definida para cada combinación de dos entradas. Las FAM permiten realizar una representación gráfica clara de las relaciones entre dos variables lingüísticas de entrada y la variable lingüística de salida, pero requiere que se indique explícitamente todas las reglas que se pueden formar con estas dos variables de entrada. Cuando el

número de conjuntos de cada una de las particiones de entrada crece las FAM se hacen difícilmente manejables. Es posible también definir FAM de más de dos dimensiones, pero su tamaño se hace rápidamente excesivo y son más difíciles aún de manejar. En su lugar se suele trabajar con varias FAM de dimensión dos, para así definir subconjuntos de reglas que asocien las entradas de dos en dos en la base de reglas general.

Formalmente, una base de reglas borrosa es una colección de reglas $R^{(l)}$ con el formato:

$$R^{(l)} : \text{if } x_1 \text{ is } F_1^l \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } F_n^l \text{ then } y \text{ is } G^l \quad (24)$$

Donde F_i^l y G^l son conjuntos borrosos en $U_i \subset \mathfrak{R}$, respectivamente, y $x = (x_1, \dots, x_n)^T \in U_1 \times \dots \times U_n$ e $y \in V$ son variables lingüísticas. Este formato de reglas se conoce como borroso puro o de tipo Mamdani, por ser quien primero las propuso en 1974 para realizar un controlador borroso que estabiliza un sistema en torno a su punto de trabajo. Otro formato frecuente para las reglas es el llamado de tipo Sugeno. En este caso, la función de salida es una combinación lineal de las variables de entrada, o en un caso más general, una función genérica de las variables de entrada.

$$R^{(l)} : \text{if } x_1 \text{ is } F_1^l \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } F_n^l \text{ then } y^l = f^l(x) \quad (25)$$

Los sistemas borrosos descritos con n entradas y una sola salida y , se conocen como MISO (Multiple Input Single Output), mientras que los que tienen varias salidas (de 1 hasta k) se conocen como MIMO (Multiple Input Multiple Output).

En este trabajo, como se podrá apreciar en capítulos posteriores, se utiliza un sistema de base de reglas tipo Mamdani, con 3 entradas y dos salidas (MIMO).

3.6. Sistema o motor de inferencia borrosa

Se llaman motor de inferencia borrosa a los sistemas que interpretan las reglas de tipo *if-then* de una base de reglas, con el fin de obtener los valores de salida a partir de los actuales valores de las variables lingüísticas de entrada al sistema. En un sistema borroso las reglas del tipo Mamdani se interpretan como una implicación borrosa de $F_1^l x \dots x F_n^l \rightarrow G^l$ en $U \times V$, con $U \equiv U_1 \times \dots \times U_n \subset \mathfrak{R}$. Si llamamos A' a la entrada en U del dispositivo de inferencia borrosa, cada regla l define un conjunto borroso B^l en V utilizando la composición Sup-Star ($R \circ S$):

$$\mu_{B^l}(y) = \sup_{x \in U} \left[\mu_{F_1^l x \dots x F_n^l \rightarrow G^l}(x, y) * \mu_{A'}(x) \right] \quad (26)$$

Por tanto, si expresamos la definición de la base de reglas borrosa tipo Mamdani como $A \rightarrow B$, se puede definir las implicaciones borrosas con diferentes interpretaciones como son la regla del mínimo, regla del producto, regla aritmética, regla Max-min, regla Booleana y regla de Goguen. Dado que, como se verá en capítulos posteriores, en este trabajo se utilizará la regla del Max-min, tan sólo se definirá dicha implicación borrosa, que se muestra a continuación:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \max \left\{ \min \left[\mu_A(x), \mu_B(y) \right], 1 - \mu_A(x) \right\} \quad (27)$$

La salida final de un sistema de inferencia borrosa puede consistir en:

- M conjuntos borrosos B^l , con $l=1,2,\dots,M$, cada uno de los cuales es el resultado de aplicar la entrada A' a cada una de las M reglas de la base de reglas
- Un único conjunto borroso B' , que es la unión de los M conjuntos borrosos B^l calculado según:

$$\mu_{B'}(y) = \mu_{B^1}(y) + \dots + \mu_{B^M}(y) \quad (28)$$

M escalares, y^l , con $l=1,2,\dots,M$, si las reglas son del tipo Sugeno, cada uno de los cuales es el resultado de aplicar la entrada A' a cada una de las M reglas de la base de reglas.

3.7. Defuzzyficación o desborrosificación

El desborrosificador es la función que transforma un conjunto borroso, normalmente la salida de un sistema de inferencia borrosa, en un valor no borroso o nítido (*crisp*) $y \in V$. Para esta tarea se pueden utilizar diversos métodos:

- Desborrosificador por máximo**, definido como

$$y = \arg \sup_{y \in V} (\mu_{B'}(y)) \quad (29)$$

es decir, y es el punto de V en que $\mu_{G^l}(y)$ alcanza su valor máximo, donde $\mu_{B'}(y)$ está definido según la unión de los B^l de salida.

- Desborrosificador por media de centros**, definido como

$$y = \frac{\sum_{l=1}^{M-1} y^l (\mu_{B'}(y^l))}{\sum_{l=1}^M (\mu_{B'}(y^l))} \quad (30)$$

donde y^l representa el centro del conjunto borroso G^l (definido como el punto de V en el que $\mu_{G^l}(y)$ alcanza su valor máximo), y $\mu_{B'}(y)$ está definido por la fórmula 26.

- Desborrosificador por centro de área**, definido como

$$y = \frac{\sum_{l=1}^M M^l(\mu_{B^l}(\bar{y}^l)) \sum_{l=1}^M \int_V \mu_{B^l}(\bar{y}^l)^2 dy M^l(\mu_{B^l}(\bar{y}^l))}{\sum_{l=1}^M A^l(\mu_{B^l}(\bar{y}^l)) \sum_{l=1}^M \int_V \mu_{B^l}(\bar{y}^l) dy} \quad (31)$$

Donde M^l es el momento (en torno al eje y del universo de discurso de la salida V) de la función de inclusión del conjunto borroso G^l , A^l es el área.

Estos métodos de desborrosificación son los empleados para obtener el valor de salida no borrosa de un sistema de inferencia borrosa que utiliza reglas de tipo Mamdani dadas por la fórmula 24.

Capítulo 4. Desarrollo de un sistema para la toma de decisiones

4.1. *Introducción*

En este trabajo se han desarrollado dos sistemas de toma de decisiones, denominados Sistema Clásico y Sistema Fuzzy, utilizando la plataforma de trabajo Ninja Trader. Dicha plataforma proporciona un software muy potente y sencillo de utilizar que permite configurar a medida gráficos, configurar plantillas y guardarlas para utilizarlas posteriormente, elimina trabajo repetitivos, agrupar los gráficos en distintos espacios de trabajo, que pueden estar activos simultáneamente, para que se pueda acceder a la información con la agilidad que se necesita..., además de controlar directamente la cuenta en el Broker y realizar estudios estadísticos sobre ella, etc. Además permite implementar indicadores propios y estrategias, todo ello implementado en el lenguaje de programación C#.

Ambos sistemas se componen básicamente de dos partes. La primera de ellas consiste en la implementación de uno o varios scripts en los cuales se programan los indicadores que se utilizarán en el sistema. La segunda parte consiste en la implementación de la estrategia, que será la encargada de decidir cuándo se entra o se sale del mercado, el capital a invertir, la gestión del riesgo,... y el análisis de la información proporcionada por los indicadores anteriormente implementados.

Concretamente en la figura 15 se puede apreciar los diferentes scripts que se han implementado en la plataforma de trabajo Ninjatrader y la relación entre ellos para ambos sistemas (Clásico y Fuzzy):

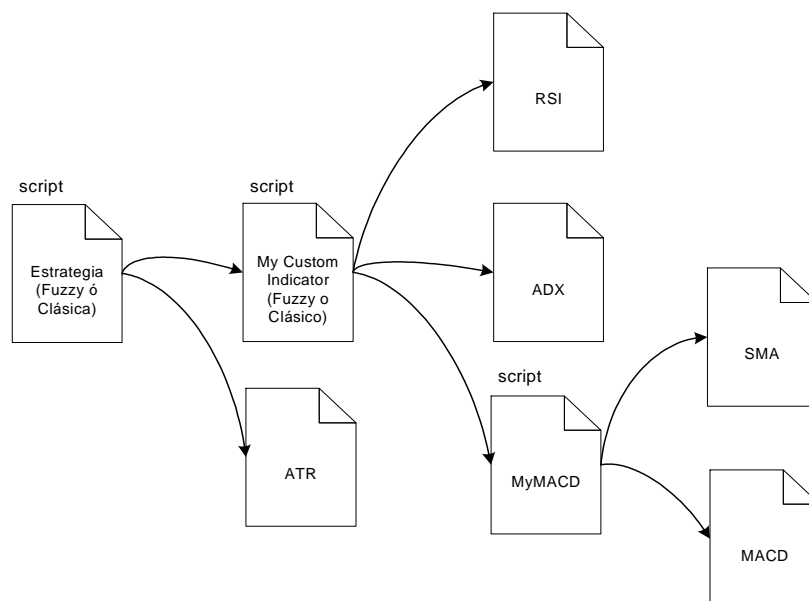


Figura 15. Estructura de ficheros para el Sistema Fuzzy y Clásico

Si se observa la figura 15, se puede comprobar que la estructura de ambos sistemas es común. Básicamente se componen de, un script en el que se implementa la estrategia (*fuzzy* o clásica), la cual realiza llamadas a los scripts de los indicadores para obtener la información necesaria.

En ambos sistemas se ha creado un nuevo indicador personalizado que se basa en tres indicadores: el indicador RSI, ADX y el indicador personalizado MyMACD (ver apartado 2.1). A su vez el indicador personalizado MyMACD se basa en la conjunción de los indicadores SMA y MACD. Por último la estrategia realiza llamadas al indicador ATR para calcular cuándo salir del mercado (ver apartado de condiciones de salida).

4.2. **Indicador personalizado MyMACD**

El indicador MyMACD es un indicador personalizado, que se ha definido de forma original para este trabajo. Dicho indicador se basa en el uso de cruces de 2 medias móviles, una rápida y otra lenta, denominadas así ya que la primera de ellas utiliza un número de sesiones inferior a la segunda y, por tanto, es más sensible a los cambios en el precio del valor. Además para evitar las falsas señales de entrada, en la medida de lo posible, se ha utilizado el indicador MACD (Moving Average Convergence Divergence) que proporciona, además de la diferencia de dos medias móviles de diferente longitud, la diferencia entre una señal de referencia que corresponde al promedio móvil exponencial del indicador MACD y el propio MACD.

Concretamente, para el cálculo de este indicador se han utilizado las siguientes expresiones (32 y 33):

- Las condiciones para entrar en largo son:

```

if(seriehoy > serieayer && macdhoy > macdayer &&
Mccorta >= Mlarga && diffSMA_hoy >= diffSMA_ayer)
  
```

(32)

-

- Y las condiciones para entrar en corto son:

```
if(seriehoy < serieayer && macdhoy < macdayer &&
Mcorta <= Mlarga && diffSMA_hoy <= diffSMA_ayer)
```

- (33)

En donde las variables significan:

- *seriehoy*: hace referencia al valor de apertura del día presente.
- *serieayer*: hace referencia al valor de apertura del día anterior.
- *macdhoy*: hace referencia al valor proporcionado por el indicador Macd para el día presente.
- *macdayer*: hace referencia al valor proporcionado por el indicador Macd para el día anterior.
- *Mcorta*: hace referencia al valor proporcionado por el indicador media exponencial (SMA) con un número *m* de sesiones (media rápida) para el día presente.
- *Mlarga*: hace referencia al valor proporcionado por el indicador media exponencial (SMA) con un número *n* de sesiones (media lenta) para el día presente.
- *diffSMA_hoy*: Diferencia en valor absoluto de ambas medias exponenciales (corta y larga con *m* y *n* sesiones respectivamente) calculada para el día presente.
- *diffSMA_ayer*: Diferencia en valor absoluto de ambas medias exponenciales (corta y larga con *m* y *n* sesiones respectivamente) calculada para el día anterior.

Una vez cumplida las condiciones anteriores (32 y 33), se calcula el valor de la fuerza con la que indicar la entrada en largo o en corto del mercado. Dichos valores se calculan tal y como se indica a continuación (34 y 35 respectivamente):

```
resultado = 25 - 3*(seriehoy - serieayer)/diffmax_serie -      (35)
3*(macdhoy - macdayer)/diffmax_macd - 10*(Mcorta[0]-
Mlarga[0])/diffmax_sma;
```

```
resultado = 75 - 3*(seriehoy - serieayer)/diffmax_serie -
3*(macdhoy - macdayer)/diffmax_macd + 10*(Mlarga[0]-
Mcorta[0])/diffmax_sma;
```

El valor proporcionado está acotado entre 0 y 100. Un valor centrado en 25 indica una señal de entrada en largo en el mercado; por el contrario, un valor centrado en 75 indica una entrada en corto al mercado.

Además se ha definido un tercer estado, en el cual se entra cuando no se cumplan las condiciones anteriormente especificadas (32 y 33), y por tanto se indica con un valor

resultado de 50. Dicho valor expresa que el indicador, con los datos proporcionados, no se puede decidir por entrar en largo o en corto en el mercado.

4.3. Fuzzyficación de señales de entrada y de salida

Se ha usado un sistema fuzzy tipo Mamdani, con operadores basados en el máximo y mínimo y el método del cálculo del centroide para la defuzzyficación.

Los indicadores y las salidas se han fuzzyficado tal y como se indica a continuación (figura 16). En todas las variables se han usado funciones de pertenencia triangulares, no simétricas. Se han definido 5 conjuntos borrosos para la entrada MyMACD y 3 conjuntos borrosos para el resto de las entradas y para las salidas.

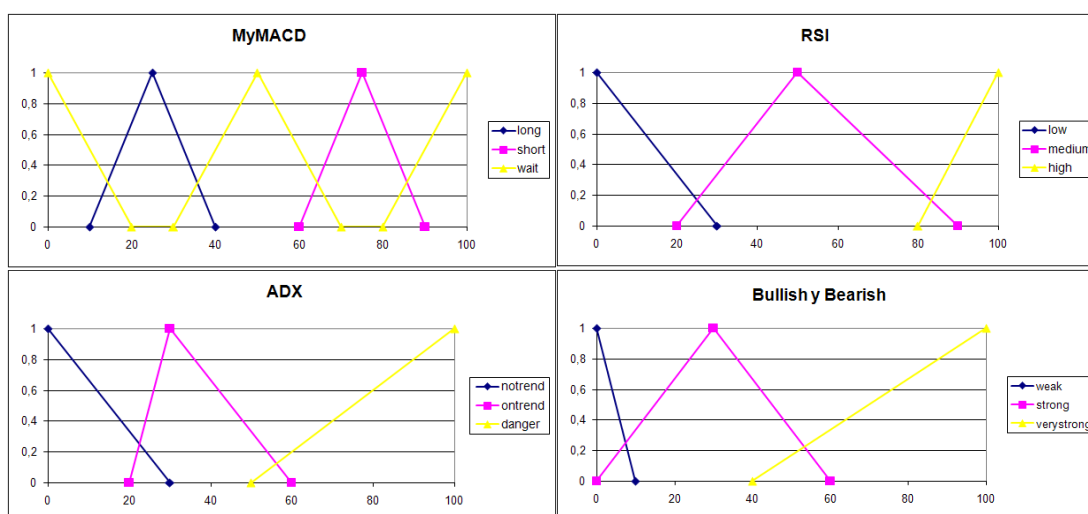


Figura 16. Fuzzyficación de indicadores y salidas

Como se puede apreciar en la figura 16, se han definido para cada indicador cuyos valores oscilan entre 0 y 100, una serie de conjuntos borrosos que vienen determinados por la descripción que se hizo de ellos en el capítulo 2. A continuación se describe cada uno de ellos:

- RSI: Se han utilizado tres conjuntos borrosos (low, médium y high): Si nos remitimos a la descripción teórica de este indicador, en ella se describía como este indicador proporcionaba la fuerza del indicador y como para valores altos, indicaba un estado de sobre compra, la cual se ha asociado al conjunto borroso *high*. Para valores bajos de este indicador, asociados a estados de sobreventa se le ha asignado el conjunto *low*. Por último para aquellos valores restantes, se les ha asociado el conjunto *médium*.
- ADX: Este indicador que muestra la fuerza de la tendencia actual del mercado, se ha dividido en 3 conjuntos borrosos dependiendo del valor proporcionado por el mismo. Por ello para valores bajos, indicaba una situación de lateralidad del mercado, o lo que es lo mismo, una “no tendencia”, por tanto, se le ha asignado el conjunto borroso *notrend*. Para valores altos, sin embargo, indicaba una fuerte tendencia pero también prevenía de situaciones de alta tendencia, que

podrían ocasionar cambios bruscos en el mercado. Es por ello que para valores altos-moderados se ha asignado el conjunto *ontrend* y para valores muy altos el conjunto *danger*, advirtiendo del peligro de operar en esa zona.

- MyMACD: En este caso, se han definido 5 conjuntos borrosos, debido al significado del valor que proporciona este indicador. Si recordamos, valores centrados en el valor 25 indicaba un mercado adecuado para poder entrar en largo en el mismo, es por ello que se le ha asociado el conjunto *long*. Por el contrario, los momentos idóneos para entrar en corto al mercado se indicaban con valores centrados en el 75, por ello se ha definido el conjunto *short*. Para el resto de valores, que si se aprecia en la figura 16, se definen como tres conjuntos inconexos de valores a los que se le ha asociado *wait*, indicando la incertidumbre en la decisión por entrar en largo o en corto en el mercado.

El sistema proporciona dos variables de salida *Bullish* y *Bearish*, que indican que el mercado está en fase alcista o bajista respectivamente. Para ambas salidas, se han definido los mismos conjuntos borrosos, *weak* (correspondiente a valores bajos) que nos indica una entrada en el mercado débil, *strong* (valores medios) para una entrada fuerte en el mercado y por último *verystrong* (valores altos), que nos indica una entrada muy fuerte en el mercado.

4.4. Reglas del sistema Clásico

Dado que se este sistema se basa en un sistema de reglas fijas, las salidas proporcionadas (*Bullish* y *Bearish*) serán binarias, indicando si entrar (100) o no (0) en el mercado, pero en ningún momento el grado de fuerza con el que entrar. El sistema de reglas definido es el siguiente (tabla 1):

| | MyMACD | | RSI | | ADX | | Bullish |
|---------|----------------------------|----|------------|----|------------|------|---------|
| if | >15 && <35 | && | >30 && <85 | && | >25 && <55 | then | 100 |
| else if | >15 && <35 | && | >25 && <85 | && | >55 | then | 100 |
| else if | >15 && <35 | && | <25 | && | >25 && <55 | then | 100 |
| else if | >15 && <35 | && | <25 | && | <25 | then | 100 |
| else if | >15 && <35 | && | <25 | && | >55 | then | 100 |
| else if | <15 >85 (>35 && <65) | && | <25 | && | >25 && <55 | then | 100 |
| else | | | | | | then | 0 |

| | MyMACD | | RSI | | ADX | | Bearish |
|---------|----------------------------|----|------------|----|------------|------|---------|
| if | >65 && <85 | && | >85 | && | >25 && <55 | then | 100 |
| else if | >65 && <85 | && | >85 | && | <55 | then | 100 |
| else if | >65 && <85 | && | >85 | && | >55 | then | 100 |
| else if | >65 && <85 | && | >35 && <85 | && | >25 && <55 | then | 100 |
| else if | >65 && <85 | && | >35 && <85 | && | >55 | then | 100 |
| else if | <15 >85 (>35 && <65) | && | >85 | && | >25 && <55 | then | 100 |
| else | | | | | | then | 0 |

Tabla 1. Reglas para el Sistema Clásico

Si se atiende al significado de los indicadores proporcionados en su descripción teórica se pueden deducir el sistema de reglas escogidos para la estrategia clásica. Básicamente se ha realizado una traslación de las reglas utilizadas en el sistema fuzzy al sistema clásico. Es por ello que se han

utilizado aproximadamente los mismos valores límites que delimitan los distintos conjuntos borrosos para los diferentes indicadores que provocan los conjuntos borrosos de salida *strong* o *verystrong* para las salidas Bullish y Bearish (ver apartado anterior). Se ha optado por esta definición para evitar favorecer un sistema frente a otro, ya que ambos parten de las mismas reglas, con la salvedad que en el sistema fuzzy se tratan de reglas borrosas y en el clásico, de reglas basadas en lógica clásica.

4.5. Reglas del sistema Fuzzy

Para el sistema Fuzzy se ha usado un conjunto de reglas tipo *if-then*, en donde cada salida tiene tres posibles estados, *weak* en el cual el sistema no entrará en el mercado, y otros dos (*strong* y *verystrong*) en el que se entrará en el mercado con distinta fuerza (tabla 2)

| MyMACD | RSI | ADX | Bullish | Bearish |
|--------|--------|---------|------------|------------|
| LONG | HIGH | ONTREND | WEAK | WEAK |
| LONG | HIGH | NOTREND | WEAK | WEAK |
| LONG | HIGH | DANGER | WEAK | WEAK |
| LONG | MEDIUM | ONTREND | VERYSTRONG | WEAK |
| LONG | MEDIUM | NOTREND | WEAK | WEAK |
| LONG | MEDIUM | DANGER | STRONG | WEAK |
| LONG | LOW | ONTREND | VERYSTRONG | WEAK |
| LONG | LOW | NOTREND | STRONG | WEAK |
| LONG | LOW | DANGER | STRONG | WEAK |
| SHORT | HIGH | ONTREND | WEAK | VERYSTRONG |
| SHORT | HIGH | NOTREND | WEAK | STRONG |
| SHORT | HIGH | DANGER | WEAK | STRONG |
| SHORT | MEDIUM | ONTREND | WEAK | VERYSTRONG |
| SHORT | MEDIUM | NOTREND | WEAK | WEAK |
| SHORT | MEDIUM | DANGER | WEAK | STRONG |
| SHORT | LOW | ONTREND | WEAK | WEAK |
| SHORT | LOW | NOTREND | WEAK | WEAK |
| SHORT | LOW | DANGER | WEAK | WEAK |
| WAIT | HIGH | ONTREND | WEAK | STRONG |
| WAIT | HIGH | NOTREND | WEAK | WEAK |
| WAIT | HIGH | DANGER | WEAK | WEAK |
| WAIT | MEDIUM | ONTREND | WEAK | WEAK |
| WAIT | MEDIUM | NOTREND | WEAK | WEAK |
| WAIT | MEDIUM | DANGER | WEAK | WEAK |
| WAIT | LOW | ONTREND | STRONG | WEAK |
| WAIT | LOW | NOTREND | WEAK | WEAK |
| WAIT | LOW | DANGER | WEAK | WEAK |

Tabla 2. Reglas fuzzy del sistema de trading

Como se aprecia en la tabla 2, tan solo se ha considerado dos estados en los cuales se entra en el mercado con mucha fuerza (*verystrong*) para cada salida. El primero de ellos se produce cuando se dan las condiciones "ideales" para el conjunto de indicadores. Por ejemplo para la salida Bullish, esto se produce cuando el valor proporcionado por el indicador MyMACD pertenezca al conjunto borroso *long*, *low* para el indicador RSI y *ontrend* para ADX. El otro caso escogido es igual con la salvedad de que se ha considerado aceptable para entrar con mucha fuerza en el mercado, cuando RSI proporciona un valor comprendido dentro del conjunto borroso *médium*. Se ha

considerado este segundo caso, debido a la observación que se realizó durante la construcción del sistema de indicadores. Durante dicho análisis, se observó que se perdían oportunidades de entrada en el mercado relativamente “claras” por ser demasiado estricta la definición de este indicador. Del modo similar se puede extrapolar la explicación para la salida Bearish.

Como casos opuestos, es decir, aquellos que producen una salida dentro del conjunto *weak*, se han considerados aquellos casos en los que el valor proporcionado por el indicador MyMACD sea opuesto al significado de la salida del sistema. Por ejemplo, si se observa que se tiene *short* (para MyMACD) indica una entrada en corto en el mercado, o lo que es lo mismo, que se trata de un mercado bajista, por tanto la salida Bullish (alcista) debe ser débil (*weak*), es decir, un valor bajo. Del mismo modo si se obtiene *long* en el indicador MyMACD, la salida Bearish debe ser débil, ya que en este caso MyMACD indicaría un mercado alcista (entrar en largo para obtener beneficios) que iría en oposición al significado de la salida Bearish (bajista).

Además de esos casos extremos se ha considerado casos intermedios (*strong* para ambas salidas) en los cuales se producen, generalmente, por la combinación de dos indicadores que proporcionen valores dentro de los estados ideales.

Este conjunto de reglas es uno de los muchos posibles que se pueden implementar con la información que proporciona el sistema de indicadores elegidos. Para determinar este tipo de reglas se ha tenido en cuenta el significado propio de los indicadores y la observación del efecto que produce los mercados en dichos indicadores.

Como se ha comentado en el apartado anterior, se ha intentado definir en ambas estrategias, el mismo conjunto de reglas (con las salvedades de las diferencias en la naturaleza de las mismas), por lo que optando por un sistema u otro de los diversos sistemas de reglas posibles, podría variar el resultado final (ganancias/pérdidas) pero mantendría el mismo efecto para ambas estrategias, con lo que la comparativa entre ambas seguiría siendo válida, que como se ha explicado en el capítulo 1, es el objetivo principal de este proyecto.

4.6. F-óptima personalizada

A diferencia del trabajo de [13], en el cual el porcentaje de capital se indicaba directamente mediante la salida (comprendida entre 0 y 100) que proporcionaba el sistema fuzzy, en el presente trabajo se ha implementado un sistema de gestión de capital basado en la f-óptima que además utiliza la información proporcionada por la salida del sistema fuzzy.

La f-óptima calcula la cantidad exacta a invertir para producir un crecimiento geométrico de los beneficios. Para ello se basa en el resultado obtenido de las anteriores operaciones, incrementando el porcentaje a invertir cuando aumentan las operaciones ganadoras y disminuyéndolo conforme llegan operaciones perdedoras. El resultado es un porcentaje a aplicar sobre el capital a invertir. Sin embargo, a pesar de ser teóricamente el valor óptimo, la mayoría de las veces implica correr un riesgo demasiado elevado debido al alto valor obtenido. Por ello que se suele utilizar la llamada f-líquida (o f-fraccional) que se sitúa en un 10% de la f-óptima.

Pero en ocasiones, donde la seguridad de estar ante una operación ganadora es alta, marcada por la salida del sistema fuzzy planteado (en este caso correspondería con un valor alto, cercano a 100), dicha f-líquida podría ser insuficiente, es decir, podría

asumirse correr más riesgo (y por lo tanto la posibilidad de obtener mayores beneficios) ya que el valor de la f -líquida sería demasiado conservador. Por el contrario, ante entradas en el mercado no tan seguras (valores bajos en la salida del sistema fuzzy), un riesgo conservador como el que ofrece la f -líquida sería idóneo.

Concretamente, si representamos la curva de la ganancia frente al riesgo asumido tal y como se hizo en la figura 10, se observaría como la f -óptima se situaría en el máximo de la curva. La f -líquida, al ser ésta un 10% de la f -óptima, se situaría en la parte izquierda (ver figura 17).

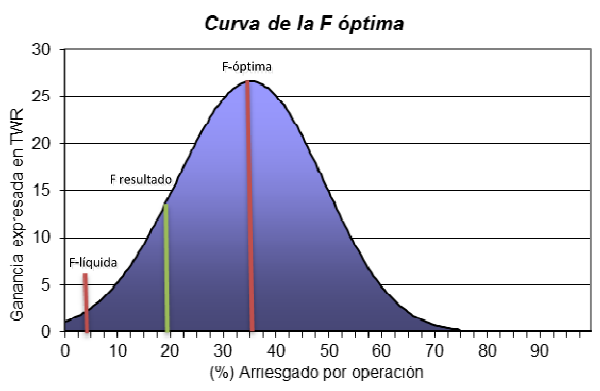


Figura 17. Representación de f -óptima, f -líquida y f sobre curva de ganancia en función del riesgo asumido por operación

Por tanto se tiene un margen de actuación limitado por un mínimo (f -líquida) y un máximo (f -óptima). El valor de salida del sistema de gestión de capital será un valor comprendido dentro de ese margen debido a una variación proporcionalmente lineal en función del valor obtenido del sistema fuzzy.

4.7. Condiciones de salida

Para ambos sistemas (clásico y fuzzy) se han establecido las mismas condiciones de salida (stoploss y stopprofit).

Cuando el sistema indica una entrada en el mercado, se establece un stop de protección a partir del cual si se supera se establece la salida del mercado. De esta forma se acotan las máximas pérdidas por cada operación y servirá para el cálculo del capital a invertir. Del mismo modo se establece un umbral de ganancias (stopprofit) a partir del cual se realizaría la salida del mercado pero, a diferencia del caso anterior, por el hecho de superar las ganancias previstas. De este modo se aseguran unas ganancias prudentes evitando que el mercado pueda dar un giro inesperado.

Ambos parámetros se calculan tomando como referencia la volatilidad del precio en el momento de la compra, usando el indicador ATR (Average True Range) de m sesiones, donde m tiene el mismo significado que el descrito en los apartados de los indicadores. Dicho valor proporcionado por el indicador ATR será calculado nuevamente cada cierre de sesión.

Concretamente el *stoploss* se ha tomado como 2 veces el ATR de m sesiones (36) y el *stopprofit* como 1,5 veces (36).

$$\begin{aligned} \text{Stoploss} &= 2 \cdot \text{ATR}(m) \\ \text{Stopprofit} &= 1,5 \cdot \text{ATR}(m) \end{aligned} \quad (36)$$

4.8. Estrategias para la toma de decisiones

La estrategia que se aplica es la encargada de recopilar y gestionar toda la información proporcionada por los indicadores (anteriormente mencionados), además implementa el sistema de gestión de capital. Calcula las condiciones de salida y en función de todos esos datos, decide, no sólo cuándo entrar o salir del mercado (en corto o en largo) sino además con qué fuerza.

Para estudiar y poder comparar ambos sistemas (Clásico y Fuzzy) se han implementado dos estrategias diferentes. El primero de ellos es un sistema simple en el cual se obtienen los valores binarios de las salidas proporcionadas por el indicador MyCustomIndicator clásico (Bullish y Bearish) los cuales le indican al sistema si entrar en largo (Bullish = 100) o entrar en corto (Bearish = 100). El indicador MyCustomIndicator es el indicador resultado de aplicar los 3 indicadores descritos con las reglas descritas anteriormente.

Una vez se decide entrar en el mercado, se calcula el capital disponible y con el precio del valor se calculan el número de contratos a comprar. A continuación se calculan las condiciones de salida tal y como se han explicado en el apartado 4.7.

Por tanto el sistema tiene dos formas de salida del mercado. El primero de ellos es si la variación del precio del contrato produce un beneficio igual o superior al establecido por la condición de salida stopprofit, en este caso se calcularía el beneficio, se actualizaría el capital y se mantendría a la espera de una nueva señal de entrada al mercado. El segundo caso se produce cuando la diferencia del precio del contrato conlleva una pérdida superior a la que se ha determinado tolerar, es decir, aquella indicada por la condición de salida stoploss. En este caso se actualizaría el capital y de nuevo se pondría a la espera de una nueva señal de entrada al mercado.

A diferencia de la estrategia clásica implementada, basada en la estrategia “todo – nada” y con indicadores clásicos, la estrategia fuzzy implementada es más compleja y su funcionamiento es el siguiente:

Al igual que en el caso de la clásica, en la estrategia fuzzy, en primer lugar, se obtienen los valores de las salidas proporcionadas por el indicador borroso MyCustomIndicator (Bullish y Bearish), pero a diferencia de la estrategia anterior, en este caso las salidas proporcionan un valor acotado entre 0 y 100. Como se puede apreciar en la figura 16, las salidas Bearish y Bullish se han definido con tres posibles estados (weak, strong y verystrong). Si se observa el primer estado (weak), se ha definido entre los valores 0 y 10, por lo tanto para evitar falsas señales de entrada se establece como valor mínimo para entrar en el mercado el valor 15. Es decir, se ha establecido un margen de 5 puntos sobre el umbral del estado weak. Una vez superado dicho valor, se acepta el valor de las salidas (Bullish o Bearish, según corresponda) y se realizan los cálculos para entrar en el mercado.

La secuencia es la siguiente. Primero, se calculan las condiciones de salida (stopprofit y stoploss), basándose, como ya se ha comentado, en el indicador ATR. Posteriormente, se calcula la f-óptima(apartado 2.2.1) que se basa en el resultado de las operaciones pasadas. Al ser iterativo, es necesario que existan dichas operaciones. Para solucionar este inconveniente, las primeras operaciones se realizan siguiendo la estrategia de la

regla del 2%. Una vez realizadas las primeras operaciones, las siguientes se calcularían siguiendo el cálculo propio de la f-óptima.

Una vez obtenido el valor “teórico” de la f-óptima, se procede al cálculo de la f-óptima personalizada. Para dicho cálculo son necesarios los siguientes datos: el valor de la f-óptima, el valor de la f-líquida (10% de la f-óptima), el valor del indicador (Bullish o Bearish) y el valor umbral de entrada al mercado (en nuestro caso 15). Como se ha comentado anteriormente, el valor que proporciona la f-óptima personalizada es un valor comprendido entre la f-líquida (umbral inferior) y la f-óptima (umbral superior) y que se calcula en función del valor de la salida del indicador borroso (Bullish o Bearish). En la fórmula 37 se indica el cálculo de la f-óptima personalizada:

$$Custom\ f - \acute{o}ptima = fopt + \frac{(indicador - umbral) * rango_fopt}{rango_ind} \quad (37)$$

En donde:

- fopt: Valor de la f-óptima
- indicador: El valor proporcionado por Bullish o Bearish.
- umbral: El valor mínimo de la salida del indicador para considerar aceptable la entrada en el mercado (en nuestro caso 15)
- rango_fopt: Rango comprendido entre la f-óptima y la f-líquida, que sería, $f_{optima} - 0,1 \cdot f_{liquida} = 0,9 \cdot f_{optima}$
- rango_ind: Indica el rango en el cual se puede mover la salida del indicador borroso. En nuestro caso, ya que se ha decidido entrar en el mercado, dicho rango sería, $100 - 15 = 85$.

A continuación, una vez modificado el valor de la f-óptima, el siguiente paso es calcular el número de contratos con los que entrar en el mercado. Para ello se utiliza la fórmula 38:

$$Número_contratos = \frac{capital \cdot Custom_fopt}{stoploss} \quad (38)$$

A diferencia de la estrategia clásica implementada, en donde el valor del stoploss tan sólo se usaba como condición de salida del mercado, en este caso se usa, además, para calcular el número de contratos con los que entrar en el mercado. Esto es debido, a que de esta forma, se tienen acotadas las posibles pérdidas en las diversas operaciones desfavorables. Para comprender mejor el significado de la fórmula 38 se explica el siguiente ejemplo:

A día de hoy, el capital disponible para invertir en el sistema de trading es de 10.000 €, la máxima pérdida que queremos tolerar en la siguiente operación es de 150 € y se quiere arriesgar un 6 % en dicha operación. Con estos datos se obtiene:

$$Número_contratos = \frac{10.000 \cdot 0,06}{150} = 4$$

Por tanto, 4 sería el número óptimo de contratos para la siguiente operación. Como se puede apreciar, tanto en la fórmula 38 como en el ejemplo anterior, el número de contratos óptimos es independiente del precio del valor, el cual no aparece en dicha fórmula, a diferencia de la estrategia clásica, en la cual se calculaba el número de contratos como un cociente entre el capital disponible y el precio del valor. Para comprender mejor este concepto, continuemos con el ejemplo.

Una vez obtenido el número óptimo de contratos, y para simplificar cálculos, supongamos que el precio del contrato está a 2500 € y que se decide entrar en largo en el mercado, por tanto se podrán comprar 4 contratos. Supongamos además que dicha operación es desfavorable y salta nuestra condición de salida del mercado por stoploss, es decir, el precio actual del contrato es de 2350 €, con lo cual se ha perdido en total, $150 \times 4 = 600$ euros, que justamente es el 6% del capital disponible, y por tanto era la fracción óptima de capital a arriesgar.

Del ejemplo anterior se pueden extraer dos conclusiones:

- El valor proporcionado por la f-óptima realmente representa el porcentaje del capital que se está dispuesto a arriesgar y no la fracción de capital a invertir. Nótese en el ejemplo anterior que se habían comprado 4 contratos a 2500 €, es decir, se había invertido la totalidad del capital disponible.
- El número de contratos óptimo, no siempre es posible, debido al precio del contrato. Si en el ejemplo, el precio del contrato hubiese sido 3000 € en vez de 2500 €, no se hubiese podido comprar 4 contratos, ya que se superaría el capital disponible. Por tanto es necesario, comprobar posteriormente si ese valor de contratos es posible, de lo contrario se opta por escoger el mayor número de contratos posibles en función del capital disponible.

Una vez calculado el número de contratos óptimos, o en caso de no ser viable, el mayor número de contratos posibles, se entra en el mercado y se espera, al igual que en el caso de la estrategia clásica a que se active alguna de las dos condiciones de salidas establecidas.

Capítulo 5. Resultados

5.1. Introducción

5.1.1. Escenario de pruebas

Para la realización de las pruebas, se han ejecutado ambas estrategias en la plataforma Ninja Trader durante el período de un año, concretamente desde el 22/12/2011 al 22/12/2012 sobre los 10 primeros valores del Nasdaq 100. En ambas estrategias, y anterior a la validación de las mismas, se ha realizado una optimización de dichas estrategias. Se han optimizado concretamente 3 variables, que son: m (número de sesiones “rápido”), n (número de sesiones “lento”) y s (suavizado para el MACD), y se ha buscado como valor a optimizar la máxima ganancia neta. Como capital disponible se ha escogido el valor de 6000 €. El resto de variables se han dejado fijas como se puede apreciar en la tabla 3:

| | |
|------------------|-----------------|
| Fac_stoploss_c | 2;2;1 |
| Fac_stoploss_l | 2;2;1 |
| Fac_stopprofit_c | 1.5;1.5;1 |
| Fac_stopprofit_l | 1.5;1.5;1 |
| m | 2;25;1 |
| n | 15;40;1 |
| s | 1;9;1 |
| Umbral_inv_c | 15;15;1 |
| Umbral_inv_l | 15;15;1 |
| From | 22/12/2010 |
| To | 22/12/2011 |
| Optimize on | max. net profit |

Tabla 3. Variables y período de optimización

En la tabla anterior se puede observar como tan sólo se ha dejado como variables las anteriormente comentadas m , n y s . Esto se puede apreciar viendo el rango de valores

que puede tomar. Por ejemplo, para el valor m , se tiene como número de sesiones (lento) mínimo el equivalente a 2 sesiones y como máximo 25, y al tratarse de una variable entera le indicamos que varíe dicho valor en una unidad cada iteración de la optimización, es decir, se le indica al optimizador del Ninja Trader 2;25;1. Del mismo modo se le indica para el resto de variables.

El resto de parámetros a optimizar (aquellos que no son m, n ó s) tienen el siguiente significado:

- Fac_stoploss_c: indica el factor multiplicativo para el cálculo del stoploss en corto, es decir, el factor que multiplica al indicador ATR. (Valor fijado a 2)
- Fac_stoploss_l: tiene el mismo significado que el parámetro anterior pero para la entrada en largo en el mercado. (Valor fijado a 2)
- Fac_stopprofit_c: indica el factor multiplicativo para el cálculo del stopprofit en corto, es decir, el factor que multiplica al indicador ATR. (Valor fijado a 1,5)
- Fac_stopprofit_l: tiene el mismo significado que el parámetro anterior pero para la entrada en largo en el mercado. (Valor fijado a 1,5)
- Umbral_inv_c: indica el valor mínimo el cual es necesario superar para considerar que el valor proporcionado por el sistema de indicadores borrosos es suficiente para entrar en corto en el mercado. (Valor fijado a 15)
- Umbral_inv_l: indica el valor mínimo el cual es necesario superar para considerar que el valor proporcionado por el sistema de indicadores borrosos es suficiente para entrar en largo en el mercado. (Valor fijado a 15)

La elección de estos valores se deben a diversas pruebas realizadas con anterioridad a la optimización presentada en el trabajo. Dichas pruebas consistieron en sucesivas optimizaciones sobre todos los valores, para observar aquellos que realmente fueran relevantes o aquellos que no se estabilizaran en torno a un valor.

Durante las pruebas se observó que los parámetros mas relevantes en el resultado final eran m , n y s , es decir, aquellos que se han escogido como variables. El resto de parámetros no tenían importancia relativa en los resultados, y cuyas optimizaciones previas se mantenían relativamente estables entorno a los valores escogidos. De este modo, al escoger tan sólo los 3 parámetros principales como variables en el proceso de optimización, se obtiene, por un lado un sistema más simple para optimizar y además un menor tiempo en el proceso de optimización.

Para optimizar ambos sistemas, se ha utilizado el optimizador propio de la plataforma Ninja Trader basado en algoritmos genéticos, obteniendo los 10 mejores resultados. Los valores utilizados en la configuración del algoritmo genético se muestran en la tabla 4:

| | |
|------------|-------|
| Aggregated | False |
|------------|-------|

| | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------|
| GO | # of Generations | 5,00 |
| GO | Crossover Rate (%) | 80,00 |
| GO | Generation Size | 25,00 |
| GO | Minimum Performance | 0,00 |
| GO | Mutation Rate (%) | 2,00 |
| GO | Mutation Strength (%) | 25,00 |
| GO | Reset Size (%) | 4,00 |
| GO | Stability Size (%) | 4,00 |
| Keep best # results | | 10,00 |
| Optimize data series | | False |
| Optimize on | | max. net profit |
| Optimizar | | Genetic |

Tabla 4. Parámetros del optimizador basado en algoritmos genéticos

5.1.2. Sistema de decisión Fuzzy

Para la estrategia Fuzzy se han escogido dos métodos para validar el sistema. El primero de ellos, denominado ventana fija, se ha optimizado durante el año completo de entrenamiento y se ha ejecutado en el año completo de validación con los valores obtenidos en el proceso de optimización. Además durante la validación de la estrategia no se han almacenado el resultado de las operaciones obtenidas en el proceso de optimización (que podrían usarse como histórico de operaciones para el cálculo de la f-óptima).

El segundo método, denominado ventana deslizante, consiste en optimizar el sistema durante un año y ejecutar tan sólo un período parcial del período completo de validación con los datos obtenidos en el período de optimización. A continuación se vuelve a optimizar desplazando el período de optimización, un tramo igual al escogido como período parcial de optimización, y se valida en el sub-período siguiente con los valores obtenidos en el nuevo período de optimización y así hasta completar el año de validación. En definitiva lo que se hace es dividir el período completo de validación en varios subperíodos, con lo que a diferencia del método anterior (ventana fija) en este caso se tendrá varios períodos de entrenamiento, de duración un año, pero desplazados entre sí un subperíodo igual al subperíodo que se ha establecido como ventana. Concretamente se han establecido 4 sub-períodos, por lo que el tamaño de la ventana deslizante será de 3 meses para poder completar el período de validación de 1 año. En la tabla 5 y 6 se detallan los períodos escogidos para ambos métodos:

| Entrenamiento | | Validación | |
|---------------|-----------|------------|-----------|
| Inicio | Fin | Inicio | Fin |
| 22-dic-10 | 22-dic-11 | 22-dic-11 | 22-dic-12 |

Tabla 5. Períodos de entrenamiento y validación para método de ventana fija

| | Entrenamiento | | Validación | |
|----|---------------|-----------|------------|-----------|
| | Inicio | Fin | Inicio | Fin |
| T1 | 22-dic-10 | 22-dic-11 | 22-dic-12 | 22-mar-12 |
| T2 | 22-mar-11 | 22-mar-12 | 22-mar-12 | 22-jun-12 |
| T3 | 22-jun-11 | 22-jun-12 | 22-jun-12 | 22-sep-12 |
| T4 | 22-sep-11 | 22-sep-12 | 22-sep-12 | 22-dic-12 |

Tabla 6. Períodos de entrenamiento y validación para método de ventana deslizando

A diferencia del método de ventana fija, en el método de ventana deslizando, se han guardado el resultado de las operaciones realizadas en el proceso de optimización y que servirán como histórico de operaciones para el cálculo de la f -óptima en el subperíodo de validación.

5.1.3. Sistema de decisión Clásico

Para la estrategia clásica se han escogido los mismos dos métodos de validación utilizados en la estrategia fuzzy (ventana fija y ventana deslizando), con los mismos períodos y sub-períodos de optimización, mismo optimizador, parámetros y se han usado las mismas variables a optimizar. A diferencia del sistema anterior, en este caso no tiene sentido almacenar el resultado de las operaciones, ya que no se utilizan en cálculos posteriores.

5.1.4. Buy & Hold

Para medir el rendimiento de ambas estrategias, se ha implementado una estrategia de B&H (Buy and Hold) a modo de benchmark. Dicha estrategia consiste en invertir la totalidad del capital el primer día del período de validación entrando en largo en el mercado, es decir, con el número máximo de contratos que le permita el capital. La salida del mercado tendrá lugar el último día del período de validación. De este modo se puede comparar los resultados obtenidos con los sistemas implementados en función de la evolución de los mercados durante el período de validación de los mismos.

5.2. Resultados con ventana fija

En los puntos 5.2.1, 5.2.2 y 5.2.3, se muestran los resultados obtenidos para las dos estrategias, fuzzy y clásica, utilizando el método de ventana fija y comparando ambas estrategias entre sí.

5.2.1. Estrategia Fuzzy

Los resultados obtenidos de la optimización (sobre los 10 primeros valores del Nasdaq 100) con el sistema de decisión fuzzy utilizando el método de ventana fija se muestran en la tabla 7.

| | AAPL | ADBE | ADP | ADSK | AKAM | ALTR | ALXN | AMAT | AMGN | AMZN |
|------------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| Fac_stoploss_c | 2,00 | | | | | | | | | |
| Fac_stoploss_l | 2,00 | | | | | | | | | |
| Fac_stopprofit_c | 1,50 | | | | | | | | | |
| Fac_stopprofit_l | 1,50 | | | | | | | | | |
| m | 10 | 6 | 24 | 18 | 22 | 20 | 7 | 24 | 8 | 7 |
| n | 15 | 25 | 26 | 40 | 39 | 22 | 18 | 25 | 18 | 23 |
| s | 4 | 9 | 7 | 4 | 7 | 3 | 8 | 2 | 3 | 2 |

| | | | | | | | | | | |
|--------------|------------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Umbral_inv_c | 15 | | | | | | | | | |
| Umbral_inv_l | 15 | | | | | | | | | |
| From | 22/12/2010 | | | | | | | | | |
| To | 22/12/2011 | | | | | | | | | |
| Net Profit | 784,41 | 786,31 | 282,45 | 1777,49 | 4395,03 | 589,14 | 4134,37 | 1086,85 | 1937,49 | 1861,28 |
| Max DD (%) | -6,01 | -14,52 | -2,86 | -13,43 | -12,20 | -10,68 | -10,70 | -5,48 | -0,50 | -7,41 |

Tabla 7. Resultados tras optimizar la estrategia fuzzy con el método de ventana fija

Se presenta un resumen de los 10 valores del Nasdaq 100 con el mejor resultado obtenido en el proceso de optimización. Para ver todos los valores obtenidos con más detalles ir al Anexo 1.

Una vez optimizado el sistema durante el año de entrenamiento, se ejecuta sobre el siguiente año de validación utilizando, como parámetros, los obtenidos en el proceso de optimización. Los resultados de este período de validación se muestran en la tabla 8. Como se puede observar en dicha tabla, tan sólo en 2 de los 10 valores escogidos (ADP y AKAM) se han obtenido pérdidas.

| | AAPL | ADBE | ADP | ADSK | AKAM | ALTR | ALXN | AMAT | AMGN | AMZN |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Net Profit | 446,99 | 457,41 | -70,55 | 77,70 | -145,00 | 173,78 | 91,22 | 181,77 | 91,40 | 593,67 |
| Max DrawDown (%) | -15,62 | -7,81 | -1,50 | -10,39 | -21,28 | -5,25 | -16,22 | -5,60 | -11,24 | -5,00 |
| Trades total | 21 | 6 | 1 | 3 | 5 | 4 | 16 | 4 | 7 | 7 |
| Trades + | 12 | 4 | 0 | 1 | 3 | 2 | 9 | 3 | 3 | 5 |
| Trades - | 9 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 7 | 1 | 4 | 2 |
| Average Trade (%) | 0,53 | 2,23 | -1,50 | 0,93 | -1,55 | 1,87 | 0,30 | 1,40 | 0,22 | 2,31 |
| Average Winning Trade (%) | 4,35 | 4,93 | 0,00 | 14,25 | 4,81 | 8,44 | 5,24 | 4,07 | 5,01 | 4,10 |
| Average Losing Trade (%) | -3,88 | -4,00 | -1,50 | -6,12 | -11,37 | -4,91 | -6,13 | -5,60 | -3,54 | -4,51 |
| Ratio avg. Win / avg. Loss | 1,12 | 1,23 | 0,00 | 2,33 | 0,42 | 1,72 | 0,85 | 0,73 | 1,42 | 0,91 |
| Sharpe Ratio | 0,23 | 0,24 | 1,00 | -0,04 | -0,66 | 0,10 | 0,08 | 2,71 | -0,01 | 0,34 |

Tabla 8. Resultados de validar la estrategia fuzzy con el método de ventana fija

Además se puede observar que en tres de los casos en los que se obtienen ganancias, las mismas superan el 7 % del capital inicial, y en el caso de las pérdidas, son inferiores al 3%.

5.2.2. Sistema de Decisión Estrategia Clásico

Los resultados obtenidos tras optimización de la estrategia clásica utilizando el método de ventana fija se muestran en la tabla 9:

| | AAPL | ADBE | ADP | ADSK | AKAM | ALTR | ALXN | AMAT | AMGN | AMZN |
|------------------|------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Fac_stoploss_c | 2,00 | | | | | | | | | |
| Fac_stoploss_l | 2,00 | | | | | | | | | |
| Fac_stopprofit_c | 1,50 | | | | | | | | | |
| Fac_stopprofit_l | 1,50 | | | | | | | | | |
| Per1 | 4 | 5 | 9 | 22 | 7 | 23 | 4 | 2 | 14 | 6 |
| Per2 | 15 | 25 | 15 | 26 | 29 | 24 | 19 | 37 | 20 | 18 |
| Smooth | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Umbral_inv_c | 15 | | | | | | | | | |
| Umbral_inv_l | 15 | | | | | | | | | |
| From | 22/12/2010 | | | | | | | | | |
| To | 22/12/2011 | | | | | | | | | |
| Net Profit | 653,71 | 817,71 | 421,94 | 1694,29 | 1601,58 | 1475,86 | 2572,93 | 1525,85 | 1140,12 | 2185,00 |
| Max DD (%) | -6,49 | -8,75 | -3,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -4,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Tabla 9. Resultados de optimizar la estrategia clásica con el método de ventana fija

Se presenta un resumen de los 10 valores del Nasdaq 100 con el mejor resultado obtenido en el proceso de optimización. Para ver todos los valores obtenidos con más detalles ir al Anexo 1.

Una vez optimizado el sistema durante el año de entrenamiento, se ejecuta sobre el siguiente año de validación utilizando, como parámetros, los obtenidos en el proceso de optimización. Los resultados obtenidos en el período de validación se muestran en la tabla 10. Como se observa en la tabla 10, se han obtenido pérdidas en 5 de los 10 valores escogidos (ADBE, ADSK, AKAM, ALTR y AMAT).

| | AAPL | ADBE | ADP | ADSK | AKAM | ALTR | ALXN | AMAT | AMGN | AMZN |
|----------------------------|--------|---------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|--------|--------|
| Net Profit | 963,74 | -222,25 | 224,82 | -137,11 | -1117,04 | -313,11 | 1161,14 | -898,29 | 188,25 | 189,92 |
| Max DrawDown (%) | -7,50 | -3,71 | -3,06 | -9,78 | -17,86 | -5,25 | -0,47 | -15,06 | -3,58 | -4,10 |
| Trades total | 10 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 5 | 4 | 7 | 3 |
| Trades + | 6 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 4 | 1 | 3 | 2 |
| Trades - | 4 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 4 | 1 |
| Average Trade (%) | 1,79 | -3,71 | 1,33 | -0,73 | -6,34 | -5,25 | 3,64 | -3,66 | -0,93 | 0,76 |
| Average Winning Trade (%) | 5,20 | 0,00 | 3,44 | 8,03 | 0,00 | 0,00 | 4,88 | 4,15 | 2,91 | 3,37 |
| Average Losing Trade (%) | -3,58 | -3,71 | -3,06 | -5,03 | -6,34 | -5,25 | -0,47 | -6,58 | -3,59 | -3,58 |
| Ratio avg. Win / avg. Loss | 1,45 | 0,00 | 1,13 | 1,60 | 0,00 | 0,00 | 10,46 | 0,63 | 0,81 | 0,94 |
| Sharpe Ratio | 0,29 | 1,00 | 2,05 | -3,88 | -4,76 | 1,00 | 0,89 | -29,10 | -0,21 | 0,14 |

Tabla 10. Resultados de validar la estrategia clásica con el método de ventana fija

5.2.3. Comparativa Fuzzy – Clásica

Lo primero que se observa al comparar ambas estrategias (tablas 9 y 10), es que en el caso de la estrategia fuzzy, se han obtenido pérdidas en dos de los 10 casos estudiados, mientras que en la estrategia clásica, se han obtenido pérdidas en la mitad de los casos, es decir, en 5 de ellos.

Si se comparan los casos en los que se han obtenido pérdidas en ambas estrategias, se puede observar que para el caso de la estrategia fuzzy, las pérdidas son menores que en el caso de la estrategia clásica. Por ejemplo, la pérdida más alta obtenida en la estrategia fuzzy, se obtiene para AKAM con un valor de 145 €. Sin embargo, para la estrategia clásica, se obtienen pérdidas de 1117,04 € y 898,29 € (AKAM y AMAT respectivamente).

Si ahora en vez de analizar las pérdidas, analizamos las ganancias, resulta que la estrategia clásica obtiene en dos casos (AAPL y ALXN) grandes resultados en comparación con la estrategia fuzzy, la cual obtiene resultados más moderados en todos los casos.

Por tanto, si se tiene en cuenta las propiedades que se detallaban de las diferentes estrategias, se puede deducir que la estrategia fuzzy basada en la f-óptima, en el caso de obtener pérdidas son, forma más suavizadas que para un sistema que no haga un uso eficiente de la gestión de capital, como es el caso de la estrategia clásica. Sin embargo, las ganancias, en media, deben ser superiores utilizando una estrategia basada en la f-óptima (estrategia fuzzy) que las obtenidas con la estrategia clásica. Como se ha comentado anteriormente, hay dos casos en los que esto no se cumple, y ello es debido a que si se observa, por ejemplo el caso del valor ALXN, en la estrategia clásica de las 5 operaciones, 4 de ellas han sido ganadoras, sin embargo en

la estrategia fuzzy de las 16 operaciones, 9 han sido ganadoras. Por tanto es normal, que si en la estrategia clásica se invierte todo el capital disponible en todas las operaciones, se obtengan mayores beneficios que en la estrategia fuzzy, ya que la estrategia clásica tiene que enfrentarse tan sólo a una operación perdedora mientras que en la fuzzy se enfrenta a 7 operaciones perdedoras, y aún así ha obtenido ligeros beneficios. Además, en la estrategia clásica se han utilizado las mismas condiciones de salida que en la estrategia fuzzy, por lo que esa operación perdedora se ha tenido controlada.

Para poder concluir que efectivamente se obtendrían beneficios más altos, para estos casos, habría que validar ambas estrategias durante un período más largo por dos motivos. El primero de ellos es descartar que se trate de casos puntuales en los que casualmente la estrategia clásica funciona bien con los parámetros obtenidos de la optimización y por el contrario la estrategia fuzzy no tanto; y en segundo lugar, es necesario períodos más largos para comprobar la efectividad de la f-óptima.

Por tanto, para comprobar si realmente el período de optimización seleccionado es el correcto, en el siguiente apartado se propone el método de ventana deslizante. Con este método se evitará que “casualmente” los sistemas funcionen bien para unos valores obtenidos, ya que para un año, se validarán con los resultados obtenidos de 4 optimizaciones y además se usarán los resultados de las operaciones obtenidas en proceso de optimización como datos de entradas para el cálculo de la f-óptima. De este modo se podrán observar los aspectos comentados anteriormente y ver cómo se comportan ambos sistemas.

| | | AAPL | ADBE | ADP | ADSK | AKAM | ALTR | ALXN | AMAT | AMGN | AMZN |
|---------|----------------------------|--------|---------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|--------|--------|
| Fuzzy | Net Profit | 446,99 | 457,41 | -70,55 | 77,70 | -145,00 | 173,78 | 91,22 | 181,77 | 91,40 | 593,67 |
| | Max DrawDown (%) | -15,62 | -7,81 | -1,50 | -10,39 | -21,28 | -5,25 | -16,22 | -5,60 | -11,24 | -5,00 |
| | Trades total | 21 | 6 | 1 | 3 | 5 | 4 | 16 | 4 | 7 | 7 |
| | Trades + | 12 | 4 | 0 | 1 | 3 | 2 | 9 | 3 | 3 | 5 |
| | Trades - | 9 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 7 | 1 | 4 | 2 |
| | Average Trade (%) | 0,53 | 2,23 | -1,50 | 0,93 | -1,55 | 1,87 | 0,30 | 1,40 | 0,22 | 2,31 |
| | Average Winning Trade (%) | 4,35 | 4,93 | 0,00 | 14,25 | 4,81 | 8,44 | 5,24 | 4,07 | 5,01 | 4,10 |
| | Average Losing Trade (%) | -3,88 | -4,00 | -1,50 | -6,12 | -11,37 | -4,91 | -6,13 | -5,60 | -3,54 | -4,51 |
| | Ratio avg. Win / avg. Loss | 1,12 | 1,23 | 0,00 | 2,33 | 0,42 | 1,72 | 0,85 | 0,73 | 1,42 | 0,91 |
| | Sharpe Ratio | 0,23 | 0,24 | 1,00 | -0,04 | -0,66 | 0,10 | 0,08 | 2,71 | -0,01 | 0,34 |
| Clásica | Net Profit | 963,74 | -222,25 | 224,82 | -137,11 | -1117,04 | -313,11 | 1161,14 | -898,29 | 188,25 | 189,92 |
| | Max DrawDown (%) | -7,50 | -3,71 | -3,06 | -9,78 | -17,86 | -5,25 | -0,47 | -15,06 | -3,58 | -4,10 |
| | Trades total | 10 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 5 | 4 | 7 | 3 |
| | Trades + | 6 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 4 | 1 | 3 | 2 |
| | Trades - | 4 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 4 | 1 |
| | Average Trade | 1,79 | -3,71 | 1,33 | -0,73 | -6,34 | -5,25 | 3,64 | -3,66 | -0,93 | 0,76 |
| | Average Winning Trade | 5,20 | 0,00 | 3,44 | 8,03 | 0,00 | 0,00 | 4,88 | 4,15 | 2,91 | 3,37 |
| | Average Losing Trade | -3,58 | -3,71 | -3,06 | -5,03 | -6,34 | -5,25 | -0,47 | -6,58 | -3,59 | -3,58 |
| | Ratio avg. Win / avg. Loss | 1,45 | 0,00 | 1,13 | 1,60 | 0,00 | 0,00 | 10,46 | 0,63 | 0,81 | 0,94 |
| | Sharpe Ratio | 0,29 | 1,00 | 2,05 | -3,88 | -4,76 | 1,00 | 0,89 | -29,10 | -0,21 | 0,14 |

Tabla 11. Tabla comparativa entre estrategia fuzzy y clásica con el método de ventana fija.

5.3. Resultados con ventana deslizante

En los puntos 5.3.1, 5.3.2 y 5.3.3, se muestran los resultados obtenidos para las dos estrategias utilizando el método de ventana deslizante, y se comparan entre ellas.

5.3.1. Sistema de Decisión Fuzzy

Los resultados obtenidos de la optimización de la estrategia fuzzy utilizando el método de ventana deslizante se muestran en la tabla 12. Es un resumen de los 10 valores del Nasdaq 100 con el mejor resultado obtenido para cada valor en el proceso de optimización. Para ver todos los valores obtenidos con más detalles ir al Anexo 1.

| | | Fac_stoploss_c | Fac_stoploss_l | Fac_stopprofit_c | Fac_stopprofit_l | m | n | s | Umbral_inv_c | Umbral_inv_l | From | to |
|------|----|----------------|----------------|------------------|------------------|----|----|---|--------------|--------------|----------|----------|
| AAPL | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 10 | 15 | 4 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 8 | 22 | 7 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 2 | 22 | 5 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 6 | 31 | 5 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| ADBR | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 6 | 25 | 9 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 10 | 38 | 2 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 12 | 23 | 5 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 6 | 23 | 2 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| ADP | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 24 | 26 | 7 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 11 | 15 | 2 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 12 | 15 | 3 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 2 | 22 | 2 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| ADSK | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 18 | 40 | 4 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 19 | 22 | 2 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 6 | 17 | 9 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 5 | 20 | 2 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| AKAM | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 22 | 39 | 7 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 6 | 31 | 4 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 3 | 15 | 8 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 15 | 27 | 2 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| ALTR | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 20 | 22 | 3 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 14 | 20 | 9 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 20 | 22 | 6 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 5 | 22 | 6 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| ALKN | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 7 | 18 | 8 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 8 | 17 | 7 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 7 | 18 | 5 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 9 | 15 | 2 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| AMAT | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 24 | 25 | 2 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 5 | 16 | 2 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 4 | 16 | 3 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 19 | 20 | 8 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| AMGN | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 8 | 18 | 3 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 5 | 17 | 7 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 5 | 20 | 7 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------|----|------|------|------|------|----|----|---|-------|-------|----------|----------|
| AMZN | P4 | | | | | 2 | 31 | 4 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| | P1 | | | | | 7 | 23 | 2 | | | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 3 | 18 | 9 | 15,00 | 15,00 | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 18 | 29 | 5 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 18 | 26 | 7 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |

Tabla 12. Resultados de optimizar la estrategia fuzzy con el método de ventana deslizante

Una vez optimizado el sistema durante los diferentes períodos de entrenamiento, se ejecuta sobre los períodos de validación tal y como se mostró en la tabla 6, con los parámetros obtenidos en el proceso de optimización. Además, como ya se ha comentado anteriormente, en los períodos de validación (en cada uno de los 4) se han introducido como resultado de las operaciones pasadas, el resultado de las operaciones obtenidas en los períodos de entrenamiento (P1, P2, P3 y P4). De esta forma, para el cálculo de la estrategia, no es necesario usar la regla del 2%, ya que desde el comienzo de la validación, se parte de una base histórica de operaciones. Los resultados obtenidos en el período de validación se muestran en la tabla 13.

| | | Net Profit | Max DD | Trades total | Trades + | Trades - | Average trade | Average winning trade | Average losing trade | Ratio avg win / avg loss | Sharpe Ratio |
|------|----|------------|--------|--------------|----------|----------|---------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|--------------|
| AAPL | P1 | 197,26 | -3,74 | 4 | 2 | 2 | 1,92 | 4,18 | -2,33 | 1,79 | 1,00 |
| | P2 | -114,36 | -6,67 | 2 | 1 | 1 | -1,44 | 6,77 | -6,67 | 1,02 | 1,00 |
| | P3 | 470,48 | -0,62 | 4 | 3 | 1 | 2,73 | 3,49 | -0,62 | 5,62 | 1,00 |
| | P4 | 39,89 | -13,65 | 4 | 1 | 3 | 0,19 | 8,04 | -3,55 | 2,26 | 1,00 |
| ADBE | P1 | -167,21 | -5,74 | 3 | 1 | 2 | -0,87 | 3,04 | -2,89 | 1,05 | 1,00 |
| | P2 | 415,14 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 6,92 | 6,92 | 0,00 | 0,07 | 1,00 |
| | P3 | 256,28 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 4,62 | 4,62 | 0,00 | 0,05 | 1,00 |
| | P4 | -98,46 | -4,57 | 2 | 1 | 1 | -0,83 | 2,93 | -4,57 | 0,64 | 1,00 |
| ADP | P1 | -89,64 | -11,50 | 1 | 0 | 1 | -1,50 | 0,00 | -1,50 | 0,00 | 1,00 |
| | P2 | 494,48 | -0,15 | 4 | 3 | 1 | 2,05 | 2,79 | -0,15 | 19,10 | 1,00 |
| | P3 | 51,72 | -2,93 | 2 | 1 | 1 | 0,39 | 3,83 | -2,93 | 1,31 | 1,00 |
| | P4 | -110,06 | -2,84 | 2 | 0 | 2 | 1,84 | 0,00 | -1,84 | 0,00 | 1,00 |
| ADSK | P1 | 88,14 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 1,46 | 1,46 | 0,00 | 0,01 | 1,00 |
| | P2 | 80,64 | -9,87 | 4 | 2 | 2 | 0,20 | 5,74 | -5,77 | 0,99 | 1,00 |
| | P3 | 311,53 | -10,68 | 3 | 2 | 1 | -2,55 | 6,51 | -10,68 | 0,61 | 1,00 |
| | P4 | -70,59 | -4,82 | 2 | 1 | 1 | -0,86 | 3,71 | -4,82 | 0,77 | 1,00 |
| AKAM | P1 | 52,44 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 1,05 | 1,05 | 0,00 | 0,01 | 1,00 |
| | P2 | 355,52 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 5,84 | 5,84 | 0,00 | 0,06 | 1,00 |
| | P3 | -512,48 | -22,33 | 2 | 1 | 1 | -12,64 | 7,75 | -22,33 | 0,35 | 1,00 |
| | P4 | 203,05 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 4,19 | 4,19 | 0,00 | 0,04 | 1,00 |
| ALTR | P1 | -415,06 | -7,44 | 2 | 0 | 2 | -3,64 | 0,00 | -3,64 | 0,00 | 1,00 |
| | P2 | 226,80 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 6,26 | 6,26 | 0,00 | 0,06 | 1,00 |
| | P3 | 114,71 | -4,06 | 3 | 2 | 1 | 1,16 | 2,47 | -4,06 | 0,61 | 1,00 |
| | P4 | 464,05 | -4,57 | 3 | 2 | 1 | 3,85 | 4,96 | -4,57 | 1,09 | 1,00 |
| ALXN | P1 | 991,77 | 0,00 | 4 | 4 | 0 | 4,31 | 4,31 | 0,00 | 0,04 | 1,00 |
| | P2 | -541,64 | -13,27 | 4 | 1 | 3 | -2,57 | 6,62 | -5,55 | 1,19 | 1,00 |
| | P3 | -309,76 | -10,60 | 2 | 0 | 2 | -5,24 | 0,00 | -5,24 | 0,00 | 1,00 |
| | P4 | 132,46 | -9,09 | 4 | 2 | 2 | 0,61 | 6,82 | -5,90 | 1,16 | 1,00 |
| AMAT | P1 | 183,72 | 0,00 | 2 | 2 | 0 | 1,65 | 1,65 | 0,00 | 0,02 | 1,00 |
| | P2 | -56,94 | -12,08 | 5 | 2 | 3 | -0,28 | 4,21 | -4,73 | 0,89 | 1,00 |
| | P3 | 188,22 | -1,04 | 2 | 1 | 1 | 1,59 | 4,16 | -1,04 | 4,02 | 1,00 |
| | P4 | 75,86 | -3,67 | 2 | 1 | 1 | 0,67 | 4,96 | -3,67 | 1,35 | 1,00 |
| AMGN | P1 | 2,67 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | -0,05 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | P2 | 12,87 | -6,43 | 4 | 2 | 2 | 0,09 | 1,32 | -2,41 | 0,53 | 1,00 |
| | P3 | -50,16 | -1,37 | 1 | 0 | 1 | -1,37 | 0,00 | -1,37 | 0,00 | 1,00 |
| | P4 | 182,92 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 3,09 | 3,09 | 0,00 | 0,03 | 1,00 |
| AMZN | P1 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | P2 | -16,57 | -0,39 | 2 | 1 | 1 | 2,35 | 5,17 | -0,59 | 8,75 | 1,00 |
| | P3 | 264,33 | -0,59 | 2 | 1 | 1 | 2,35 | 5,17 | -0,59 | 8,75 | 1,00 |
| | P4 | 251,16 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 4,36 | 4,36 | 0,00 | 0,04 | 1,00 |

Tabla 13. Resultados de validar la estrategia fuzzy con el método de ventana deslizante

En tabla 14 se muestra una comparación, para la estrategia fuzzy, de ambos métodos, es decir, para el método de ventana fija y el de ventana deslizante. En dicha tabla se representan los resultados obtenidos para el método de ventana fija (en la primera fila) y los obtenidos para el método de ventana deslizante (segunda fila). Además, en la última fila se ha representado la diferencia entre el resultado con ventana deslizante menos el resultado con ventana fija.

Lo primero que se puede observar es que, a diferencia del método de ventana fija en el cual en 2 de los 10 casos se obtenían pérdidas, utilizando este método no se han obtenido pérdidas en ninguno de los casos estudiados. Además, en 8 de los 10 casos estudiados se ha producido una mejora considerable (se ha obtenido mayor beneficio) con respecto al método anterior. Por el contrario en los otros 2 casos se ha producido un leve decrecimiento de los beneficios. A la vista de los resultados, se justifica los argumentos que se expusieron en apartados anteriores cuando se planteaba que quizás el período de entrenamiento no fuese adecuado (1 año) y que se hacía referencia a la importancia del número de operaciones almacenadas en el histórico para potenciar la eficacia de la f-óptima.

| | AAPL | ADBE | ADP | ADSK | AKAM | ALTR | ALXN | AMAT | AMGN | AMZN |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ventana fija | 446,99 | 457,41 | -70,55 | 77,70 | -145,00 | 173,78 | 91,22 | 181,77 | 91,40 | 593,67 |
| Ventana deslizante 3 meses | 593,27 | 405,75 | 346,50 | 407,72 | 98,53 | 390,50 | 272,83 | 390,86 | 148,30 | 498,92 |
| Diferencia (\$) | 146,28 | -51,66 | 417,05 | 330,02 | 243,53 | 216,72 | 181,61 | 209,09 | 56,90 | -94,75 |

Tabla 14. Comparativa para la estrategia fuzzy con método de ventana fija y deslizante

Por último cabe destacar, que si se observan los resultados obtenidos con este método para todos los casos, se puede apreciar que los beneficios están, de forma general, más compensados, lo cual indica que utilizando este método, las ganancias se independizan en mayor medida de la evolución de los mercados.

5.3.2. Sistema de Decisión Clásico

Los resultados obtenidos de la optimización de la estrategia fuzzy utilizando el método de ventana deslizante se muestran en la tabla 15. Es un resumen de los 10 valores del Nasdaq 100 con el mejor resultado obtenido para cada valor en el proceso de optimización. Para ver todos los valores obtenidos con más detalles ir al Anexo 1.

| | | Fac_stoploss_c | Fac_stoploss_l | Fac_stopprofit_c | Fac_stopprofit_l | m | n | s | Umbra Inv_c | Umbra Inv_l | From | to |
|------|----|----------------|----------------|------------------|------------------|----|----|---|-------------|-------------|----------|----------|
| AAPL | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 4 | 15 | 6 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 4 | 15 | 6 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 2 | 15 | 2 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 6 | 18 | 3 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| ADBR | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 5 | 25 | 6 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 10 | 35 | 2 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 4 | 22 | 4 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 19 | 20 | 4 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| ADP | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 9 | 15 | 6 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------|----|------|------|------|------|----|----|---|-------|-------|----------|----------|
| | P2 | | | | | 9 | 15 | 4 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 9 | 15 | 2 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 2 | 15 | 7 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| ADSK | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 22 | 26 | 6 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 22 | 26 | 6 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 4 | 40 | 5 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 4 | 15 | 7 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| AKAM | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 7 | 29 | 6 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 18 | 29 | 8 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 18 | 28 | 7 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 21 | 22 | 3 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| ALTR | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 23 | 24 | 6 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 13 | 19 | 4 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 9 | 18 | 3 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 8 | 15 | 2 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| ALKN | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 4 | 19 | 6 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 5 | 16 | 9 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 8 | 17 | 7 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 5 | 16 | 8 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| AMAT | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 2 | 37 | 6 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 19 | 27 | 3 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 20 | 21 | 2 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 3 | 22 | 2 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| AMGN | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 14 | 20 | 6 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 5 | 16 | 4 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 8 | 21 | 8 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 2 | 19 | 9 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |
| AMZN | P1 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 6 | 18 | 6 | 15,00 | 15,00 | 22-12-10 | 22-12-11 |
| | P2 | | | | | 9 | 16 | 9 | | | 22-03-11 | 22-03-12 |
| | P3 | | | | | 6 | 21 | 7 | | | 22-06-11 | 22-06-12 |
| | P4 | | | | | 4 | 15 | 2 | | | 22-09-11 | 22-09-12 |

Tabla 15. Resultados tras optimizar la estrategia clásica con el método de ventana deslizante

Una vez optimizado el sistema durante los diferentes períodos de entrenamiento, se ejecuta sobre los períodos de validación tal y como se mostró en la tabla 6, con los parámetros obtenidos en el proceso de optimización. A diferencia de la estrategia fuzzy, en este caso, no se han guardado los resultados de las operaciones obtenidas en el proceso de optimización ya que no son necesarias para este sistema de estrategia.

Los resultados obtenidos en el período de validación se muestran en la tabla 16.

| | | Net Profit | Max DD | Trades total | Trades + | Trades - | Average trade | Average winning trade | Average losing trade | Ratio avg win / avg loss | Sharpe Ratio |
|------|----|------------|--------|--------------|----------|----------|---------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|--------------|
| AAPL | P1 | 322,47 | 0,00 | 2 | 2 | 0 | 2,80 | 2,80 | 0,00 | 0,03 | 1,00 |
| | P2 | 688,47 | 0,00 | 2 | 2 | 0 | 5,73 | 5,73 | 0,00 | 0,06 | 1,00 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|----|---------|-------|---|---|---|-------|------|--------|------|------|
| | P3 | -34,44 | 4,33 | 2 | 1 | 1 | -0,12 | 3,68 | -4,33 | 0,85 | 1,00 |
| | P4 | -50,38 | -0,89 | 1 | 0 | 1 | -0,89 | 0,00 | -0,89 | 0,00 | 1,00 |
| ADBE | P1 | -92,75 | -1,55 | 1 | 0 | 1 | -1,55 | 0,00 | -1,55 | 0,00 | 1,00 |
| | P2 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | P3 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | P4 | 132,64 | -3,32 | 3 | 2 | 1 | 0,77 | 2,91 | -3,32 | 0,88 | 1,00 |
| ADP | P1 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | P2 | 228,00 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 3,76 | 3,76 | 0,00 | 0,04 | 1,00 |
| | P3 | 188,72 | 0,00 | 2 | 2 | 0 | 1,59 | 1,59 | 0,00 | 0,02 | 1,00 |
| | P4 | 27,30 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 0,45 | 0,45 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| ADSK | P1 | -317,58 | -5,30 | 1 | 0 | 1 | -5,30 | 0,00 | -5,30 | 0,00 | 1,00 |
| | P2 | 334,62 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 5,57 | 5,57 | 0,00 | 0,06 | 1,00 |
| | P3 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | P4 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| AKAM | P1 | -133,63 | -2,23 | 1 | 0 | 1 | -2,23 | 0,00 | -2,23 | 0,00 | 1,00 |
| | P2 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | P3 | -35,19 | -0,59 | 1 | 0 | 1 | -0,59 | 0,00 | -0,59 | 0,00 | 1,00 |
| | P4 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| ALTR | P1 | -313,11 | -5,25 | 1 | 0 | 1 | -5,25 | 0,00 | -5,25 | 0,00 | 1,00 |
| | P2 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | P3 | -170,64 | -2,86 | 1 | 0 | 1 | -2,86 | 0,00 | -2,86 | 0,00 | 1,00 |
| | P4 | 216,00 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 3,59 | 3,59 | 0,00 | 0,04 | 1,00 |
| ALXN | P1 | 318,50 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 5,37 | 5,37 | 0,00 | 0,05 | 1,00 |
| | P2 | 44,54 | -5,91 | 2 | 1 | 1 | 0,31 | 6,62 | -5,91 | 1,12 | 1,00 |
| | P3 | 274,45 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 4,59 | 4,59 | 0,00 | 0,05 | 1,00 |
| | P4 | -130,46 | 10,55 | 2 | 1 | 1 | -0,49 | 8,36 | -10,55 | 0,79 | 1,00 |
| AMAT | P1 | -409,18 | -6,87 | 1 | 0 | 1 | -6,87 | 0,00 | -6,87 | 0,00 | 1,00 |
| | P2 | 275,04 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 4,59 | 4,59 | 0,00 | 0,05 | 1,00 |
| | P3 | -226,35 | -3,78 | 1 | 0 | 1 | -3,78 | 0,00 | -3,78 | 0,00 | 1,00 |
| | P4 | -408,72 | -6,90 | 1 | 0 | 1 | -6,90 | 0,00 | -6,90 | 0,00 | 1,00 |
| AMGN | P1 | 67,64 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 1,13 | 1,13 | 0,00 | 0,01 | 1,00 |
| | P2 | -299,09 | -4,95 | 2 | 0 | 2 | -2,54 | 0,00 | -2,54 | 0,00 | 1,00 |
| | P3 | -215,84 | -3,61 | 1 | 0 | 1 | -3,61 | 0,00 | -3,61 | 0,00 | 1,00 |
| | P4 | -147,00 | -2,47 | 1 | 0 | 1 | -2,47 | 0,00 | -2,47 | 0,00 | 1,00 |
| AMZN | P1 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| | P2 | -227,64 | -3,80 | 1 | 0 | 1 | -3,80 | 0,00 | -3,80 | 0,00 | 1,00 |
| | P3 | 288,24 | 0,00 | 1 | 1 | 0 | 4,86 | 4,86 | 0,00 | 0,05 | 1,00 |
| | P4 | 145,48 | -1,68 | 2 | 1 | 1 | 1,39 | 4,10 | -1,68 | 2,45 | 1,00 |

Tabla 16. Resultados de validar la estrategia clásica con el método de ventana deslizante

En la tabla 17 se muestra una comparación, para la estrategia clásica, de ambos métodos, es decir, para ventana fija (primera fila) y ventana deslizante (segunda fila). Además, en la última fila se ha representado la diferencia entre el resultado con ventana deslizante menos el resultado con ventana fija.

En este caso, a diferencia de la estrategia fuzzy, los resultados no mejoran de forma evidente. Anteriormente, para el método de ventana fija, se obtenían 5 casos con pérdidas sobre los 10 estudiados. Al utilizar el método de ventana deslizante, se han obtenido pérdidas en 4 de los 10 casos, con lo que la mejora no es muy significativa. A pesar de obtenerse un caso menos con pérdidas, si se observa la tercera fila, se aprecia que en 3 de los 10 casos el sistema ha empeorado, y en 2 de ellos de forma muy significativa.

Uno de los aspectos más criticados por gran parte de los *traders* sobre los sistemas basados en el cruce de medias (como el sistema de indicadores utilizado) es que los resultados son muy dispares, ya que se pueden obtener desde grandes beneficios a grandes pérdidas. La dificultad de utilizar las medias móviles es ajustar el número de sesiones de ambas a priori, ya que el mercado sufre continuos cambios que hacen que los parámetros utilizados obtengan pérdidas cuando en el período anterior producían beneficios. Si se observan los resultados obtenidos en la tabla comparativa 17 se pueden observar estos efectos

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|---------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Ventana fija | 963,74 | -222,25 | 224,82 | -137,11 | -1117,04 | -313,11 | 1161,14 | -898,29 | 188,25 | 189,92 |
| Ventana deslizante 3 meses | 926,14 | 39,89 | 444,02 | 17,04 | -168,82 | -267,75 | 507,03 | -769,21 | -594,29 | 206,08 |
| Diferencia (\$) | -37,60 | 262,14 | 219,20 | 154,15 | 948,22 | 45,36 | -654,11 | 129,08 | -782,54 | 16,16 |

Tabla 17. Comparativa para la estrategia clásica con método de ventana fija y deslizante

Por último, se puede observar como hay grandes diferencias (de mejora y empeoramiento del sistema) utilizando diferentes métodos, lo cual indica la inestabilidad en el comportamiento de este sistema en el mercado, a diferencia de los resultados obtenidos con la estrategia fuzzy los cuales estaban más compensados.

5.3.3. Comparativa Fuzzy – Clásica

En la tabla 18 se muestra una comparativa de ambas estrategias con ambos métodos en la cual se ha añadido una última fila en la que se ha expresado la diferencia de los resultados obtenidos con ambas estrategias (Fuzzy menos clásica) para el método de ventana deslizante.

| | | AAPL | ADBE | ADP | ADSK | AKAM | ALTR | ALXN | AMAT | AMGN | AMZN |
|----------------------|----------------------------|---------|---------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Fuzzy | Ventana fija | 446,99 | 457,41 | -70,55 | 77,70 | -145,00 | 173,78 | 91,22 | 181,77 | 91,40 | 593,67 |
| | Ventana deslizante 3 meses | 593,27 | 405,75 | 346,50 | 407,72 | 98,53 | 390,50 | 272,83 | 390,86 | 148,30 | 498,92 |
| | Diferencia (\$) | 146,28 | -51,66 | 417,05 | 330,02 | 243,53 | 216,72 | 181,61 | 209,09 | 56,90 | -94,75 |
| Clásica | Ventana fija | 963,74 | -222,25 | 224,82 | -137,11 | -1117,04 | -313,11 | 1161,14 | -898,29 | 188,25 | 189,92 |
| | Ventana deslizante 3 meses | 926,14 | 39,89 | 444,02 | 17,04 | -168,82 | -267,75 | 507,03 | -769,21 | -594,29 | 206,08 |
| | Diferencia (\$) | -37,60 | 262,14 | 219,20 | 154,15 | 948,22 | 45,36 | -654,11 | 129,08 | -782,54 | 16,16 |
| Fuzzy - Clásica (\$) | | -332,87 | 365,86 | -97,52 | 390,68 | 267,35 | 658,25 | -234,20 | 1160,07 | 742,59 | 292,84 |

Tabla 18. Comparativa para ambas estrategias con método de ventana fija y deslizante

Como se puede observar, tan sólo en 3 de los casos se obtienen mayores beneficios utilizando la estrategia clásica. Por tanto, utilizando la estrategia fuzzy se obtienen no sólo más casos en los que se obtienen más beneficios sino que en dichos casos las diferencias entre ambas estrategias son mayores.

5.4. Buy & Hold

Como se ha comentado anteriormente, para este trabajo y como benchmark, se ha implementado la estrategia B&H. Dicha estrategia consiste en entrar en el mercado (en nuestro caso en largo) el primer día del período de validación y salir de dicho mercado el último día..

En el apartado 5.4.1 se detallarán los resultados obtenidos con esta estrategia y en el apartado 5.4.2 se compara con las otras dos estrategias analizadas anteriormente. Además en dicho apartado se escogerán algunos ejemplos ilustrativos los cuales servirán para analizar las características y diferencias de las tres estrategias. Para ver con detalle el resto de casos, ver Anexo 1.

5.4.1. Resultados obtenidos

En la tabla 19 se ha representado los resultados obtenidos tras ejecutar la estrategia B&H sobre el período de validación. Además se ha representado la máxima ganancia o pérdida resultado de la evolución del capital en el período de validación. De esta forma se puede apreciar cuánto se hubiese podido perder y/o ganar si se hubiese salido del mercado cuando alcanzaba dichos valores, también nos da una idea del riesgo que se ha asumido.

| | AAPL | ADBE | ADP | ADSK | AKAM | ALTR | ALXN | AMAT | AMGN | AMZN |
|------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|---------|
| Net Profit | 908,46 | 1381,28 | 138,86 | -36,96 | 1957,75 | -571,50 | 1602,18 | -399,34 | 1724,80 | 2237,76 |
| Contratos | 14,00 | 194,00 | 106,00 | 168,00 | 191,00 | 150,00 | 81,00 | 487,00 | 88,00 | 32,00 |
| Máximo | 3870,98 | 1420,50 | 355,76 | 1171,92 | 1999,08 | 244,50 | 3682,74 | 788,78 | 1991,28 | 2451,52 |
| Mínimo | 203,96 | -273,12 | -605,66 | -1346,40 | -1053,10 | -1561,50 | -31,11 | -1154,35 | -247,44 | -496,00 |

Tabla 19. Resultados obtenidos de validar la estrategia de B&H

Como se puede observar, en 7 de los 10 casos se han obtenido beneficios. De esos 7 casos, en 5 de ellos se han obtenido beneficios altos. Sin embargo, si observamos la fila de los mínimos, se puede apreciar cómo en 5 de los 10 casos se han podido obtener unas pérdidas considerables, incluso llegando a ser superiores al 20% del capital invertido. Dichas posibles pérdidas podrían incluso haber sido mayores ya que no se han establecido ninguna condición de salida de seguridad, por lo que dependen totalmente de la evolución del mercado.

5.4.2. Comparativa con estrategias Fuzzy y Clásica

En este apartado además de comparar los resultados obtenidos con las tres estrategias, se analizarán 4 ejemplos utilizando los métodos de ventana fija y ventana deslizante.

En primer lugar, en la tabla 20 se muestra una comparativa con los resultados de las estrategias clásica y fuzzy (con ventana deslizante) en y B&H. Como se puede observar,, para ambas estrategias (clásica y fuzzy) se obtienen 4 casos (sobre 10) en los que se supera al B&H; sin embargo con la estrategia fuzzy las diferencias son más considerables que con la clásica. En el resto de los casos, la estrategia B&H supera considerablemente a ambas estrategias.

| | AAPL | ADBE | ADP | ADSK | AKAM | ALTR | ALXN | AMAT | AMGN | AMZN |
|-------------------|---------|----------|--------|--------|----------|--------|----------|---------|----------|----------|
| Fuzzy - B&H (\$) | -315,19 | -975,53 | 207,64 | 444,68 | -1859,22 | 962,00 | -1329,35 | 790,20 | -1576,50 | -1738,84 |
| Clásica - B&H(\$) | 17,68 | -1341,39 | 305,16 | 54,00 | -2126,57 | 89,91 | -1095,15 | -369,87 | -2319,09 | -2031,68 |

Tabla 20. Tabla comparativa de estrategias B&H,fuzzy y clásica

Para analizar los resultados obtenidos, se va a proceder al estudio de 3 ejemplos para las 3 estrategias. Concretamente los ejemplos escogidos son: AAPL, AKAM y ALTR. Para dichos ejemplos, se ha representado la evolución del capital de la siguiente forma:

- Para las estrategias clásica y fuzzy se ha actualizado el capital al cierre de cada operación.
- Para la estrategia B&H se ha actualizado con el valor de cierre de cada sesión.

A) En primer lugar, se representan las gráficas comparativas utilizando el método de ventana fija (figura 18).

En esa figura se presenta la evolución del capital disponible de cada una de las 3 estrategias para el valor AAPL. El comportamiento de este valor, si se observa la evolución de la estrategia B&H (línea roja), es un comportamiento con fuertes tendencias, ya que se aprecian fuertes subidas y bajadas en de los precios, de forma general en el período estudiado, se observa una tendencia alcista. Esto significa que siguiendo la estrategia B&H se podría haber ganado o perdido una suma importante de capital, dependiendo tan sólo del día de entrada y salida del mercado escogido.

En este caso, la estrategia fuzzy (línea verde) tiene un comportamiento peor al de las otras dos estrategias, que están en cierto modo igualadas. Se puede deber a que el período escogido de entrenamiento no es el más adecuado, ya que si se observa la evolución del capital en la gráfica correspondiente, hasta los 6 primeros meses, se incrementan progresivamente los beneficios, pero a partir de la segunda mitad del período empieza a decaer. Esto, significa que los parámetros escogidos para la validación dejan de ser eficientes para este período. Sin embargo, gracias a la f-óptima cada vez las caídas son menores y el sistema es capaz de remontar cuando viene alguna operación ganadora.

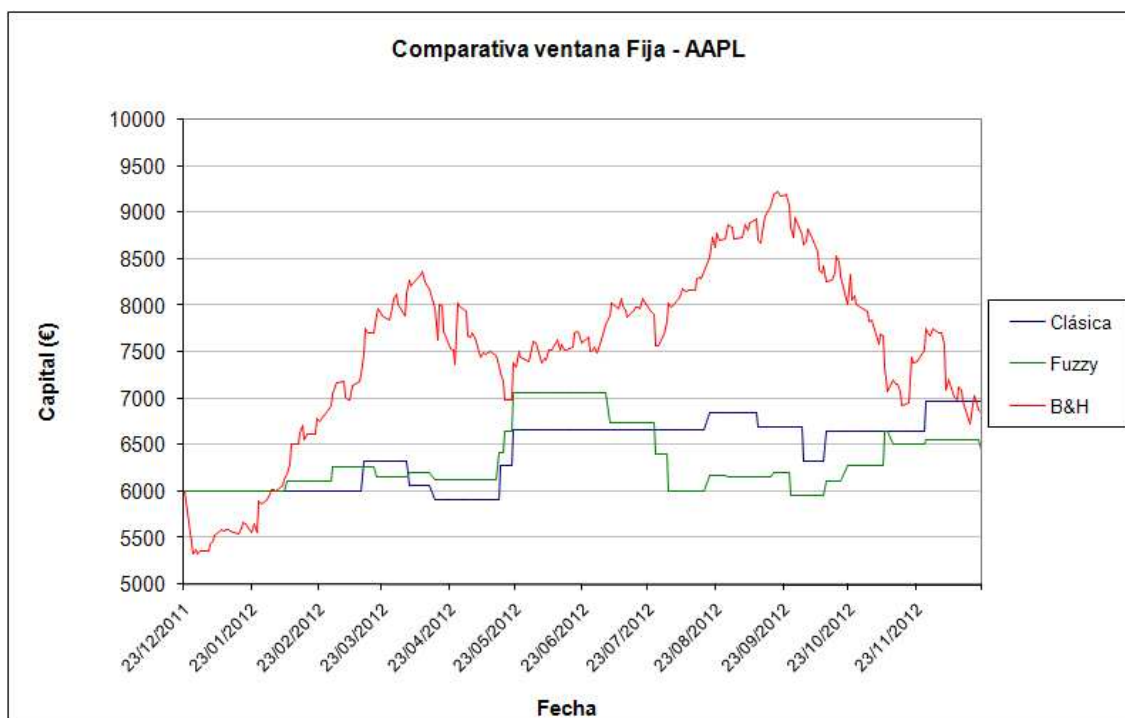


Figura 18. Comparativa de la evolución del capital disponible para el valor AAPL con ventana fija

En la figura 19 se representa la misma gráfica, pero en este caso, usando el método de ventana deslizante. A pesar de que se obtienen ligeramente menos beneficios en el caso de la estrategia clásica (línea azul), tiene un mejor comportamiento ya que no presenta caídas de capital considerables. También en este caso la estrategia fuzzy (línea verde) mejora el comportamiento ya que no sufre esas fuertes caídas en la segunda mitad del período, y además mejora ligeramente el resultado final. En este escenario, la estrategia clásica mejora ligeramente el resultado obtenido con el B&H (línea roja).

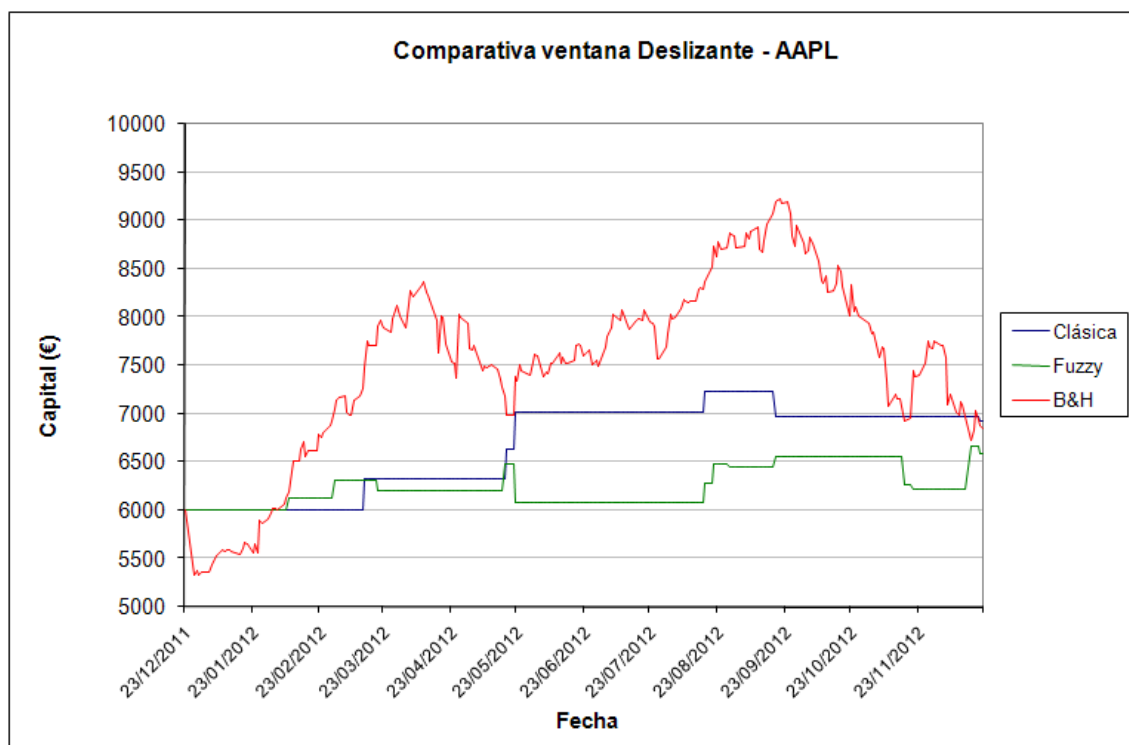


Figura 19. Comparativa de la evolución del capital disponible para el valor AAPL con ventana deslizante

B) El siguiente valor a analizar es el AKAM, representado en la figura 20.

Al igual que el caso anterior, dicho valor posee un comportamiento con fuertes tendencias alcista y bajista con una línea general alcista (ver evolución de capital de B&H, línea roja). Si se observa la fuerte caída producida a partir del 23/04/12, la estrategia fuzzy es capaz de amortizar dicha caída, produciendo leves pérdidas. Sin embargo, la estrategia clásica va incrementando las pérdidas conforme se van produciendo las operaciones. En este caso, la estrategia B&H es claramente muy superior a las otras dos, pero, debido a las fuertes caídas del precio, se ha arriesgado una importante cantidad de capital, por ejemplo, desde mediados de mayo hasta finales de julio.

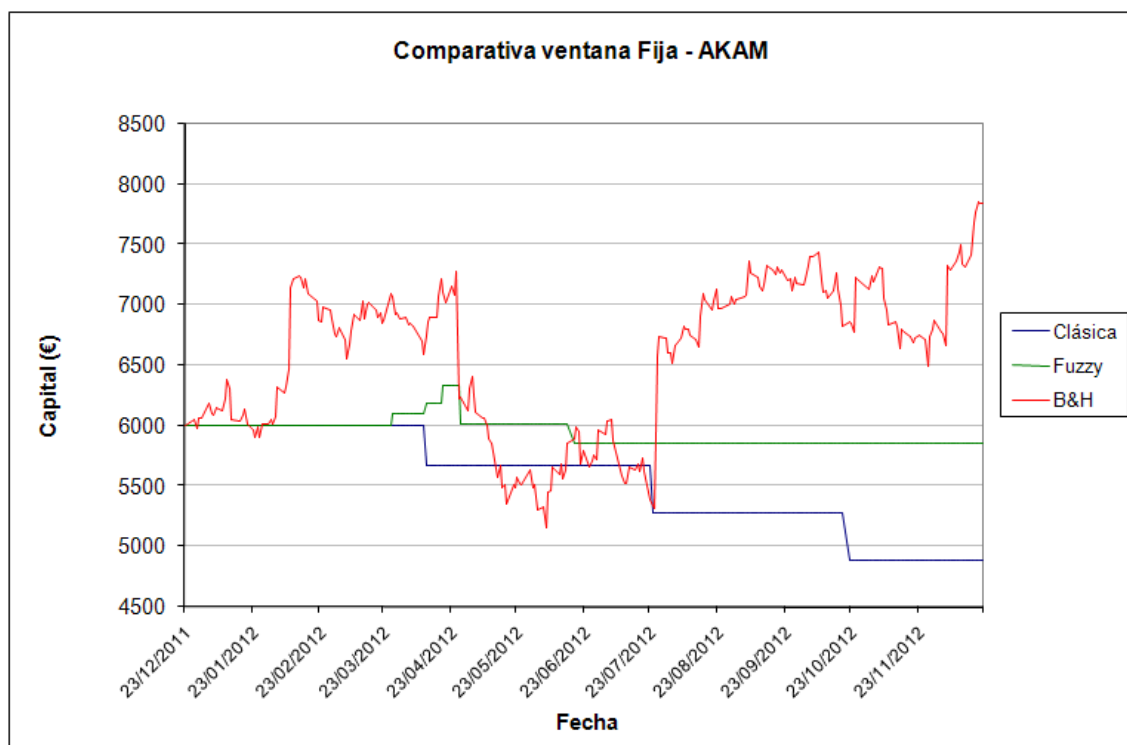


Figura 20. Comparativa de la evolución del capital disponible para el valor AKAM con ventana fija

En la figura 21 se representa el mismo ejemplo pero utilizando el método de ventana deslizante. Ambas estrategias (clásica y fuzzy) han obtenido mejoras con respecto al método de ventana fija. Concretamente la estrategia fuzzy se ha recuperado mejor de la pérdida sufrida y como resultado ha obtenido leves beneficios. Obsérvese que las ganancias obtenidas después de la gran pérdida son pequeñas, pero progresivamente van incrementando. Esto es así debido a que la f-óptima, ante una operación perdedora en la que se ha perdido una parte considerable del capital, reduce drásticamente la fracción del capital para, de este modo, si continúan las pérdidas, amortizar esa mala racha. Sin embargo, conforme van llegando operaciones ganadoras, se va incrementando prudentemente dicha fracción, para ir aprovechando paulatinamente la racha de operaciones ganadoras. La estrategia clásica, debido a que se ha optimizado el sistema en subperíodos, a pesar de obtener pérdidas ha reducido considerablemente la cuantía de las mismas. Al igual que en el caso anterior, la estrategia B&H ha sido muy superior a las otras estrategias.

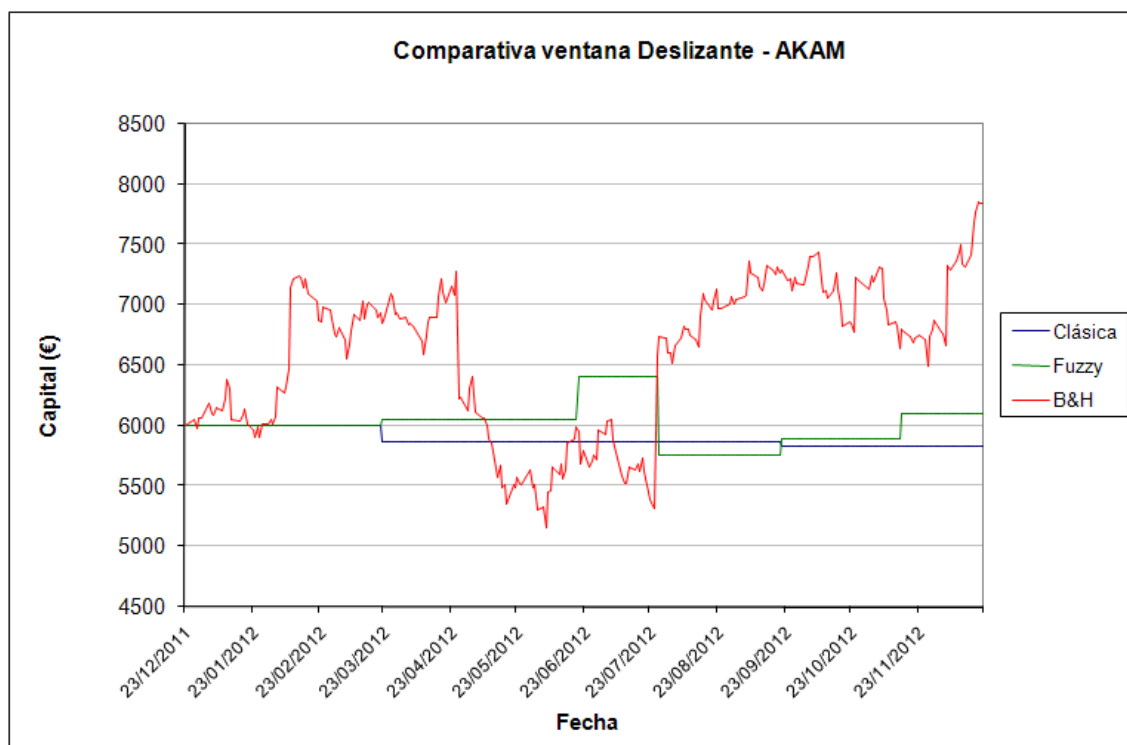


Figura 21. Comparativa de la evolución del capital disponible para el valor AKAM con ventana deslizante

C) Por último en la figura 22 se representa la evolución del capital para el valor ALTR utilizando el método de ventana fija.

Se puede apreciar como la peor estrategia de las 3 estudiadas, para este valor, es la estrategia B&H, que concretamente es la que ofrece mayores pérdidas en el período de estudio. Le sigue la estrategia clásica que también ofrece pérdidas pero ligeramente inferiores a la estrategia B&H. En este caso tan sólo con la estrategia fuzzy se obtienen beneficios. Este ejemplo ilustra como ante mercados laterales o con una tendencia bajista (como es el caso), la estrategia fuzzy sigue obteniendo beneficios. Es decir los resultados obtenidos, no son tan fuertemente dependientes del comportamiento del mercado como para B&H, ya que ésta última tan sólo obtiene beneficio si existe una tendencia general alcista del mercado en el período de validación. Aquí la estrategia clásica ha obtenido unas pérdidas moderadas (en torno a 300 €) debido a que tan sólo ha sido capaz de realizar una operación. Por tanto cabe preguntarse que hubiese pasado si hubiesen existido más operaciones, ¿hubiese remontado dichas pérdidas o por el contrario las hubiese incrementado?

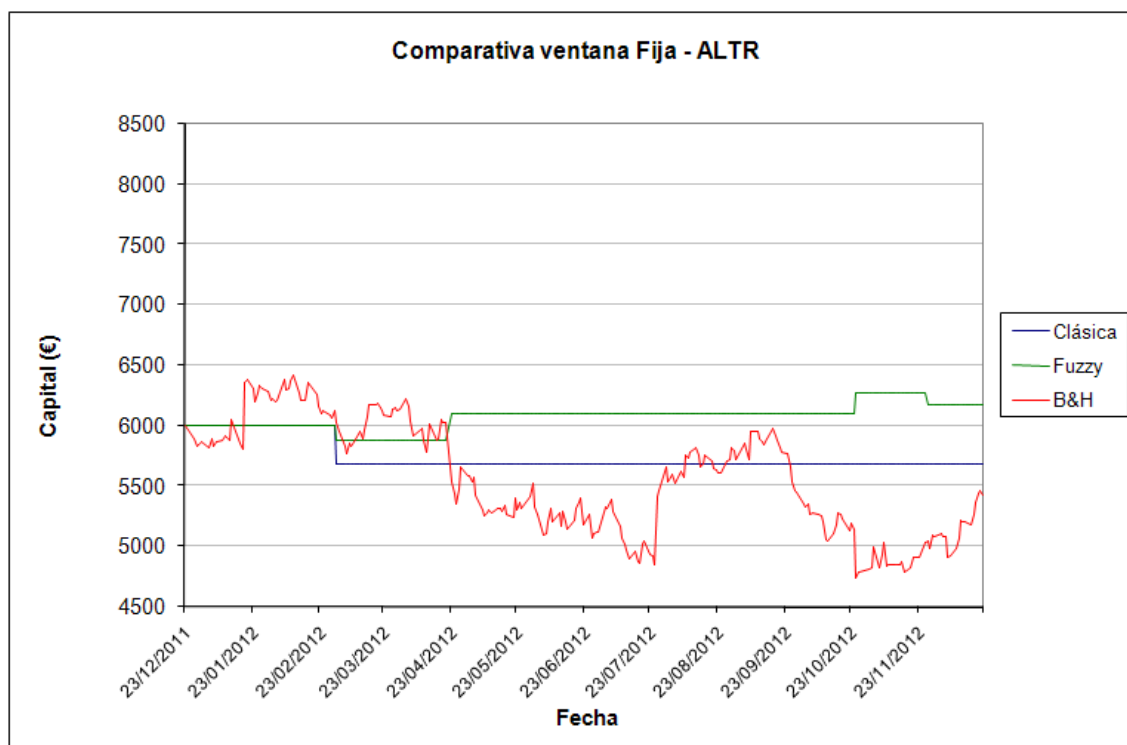


Figura 22. Comparativa de la evolución del capital disponible para el valor ALTR con ventana fija

Por último la figura 23 muestra la evolución del capital de las estrategias utilizando el método de ventana deslizante. En este caso ambas estrategias (clásica y fuzzy) han mejorado con respecto a la ventana fija, pero aún así la estrategia clásica presenta pérdidas aunque ligeramente inferiores. Sin embargo se puede observar cómo las dos primeras operaciones de la estrategia fuzzy son perdedoras (en el caso de ventana fija la segunda operación fue ganadora) eso no impide que la estrategia remonte y consiga mayores beneficios. Si se observa la segunda pérdida, ésta es menor que la primera, que como ya se ha comentado, se debe al efecto de la f-óptima sobre el sistema.

A continuación, se produce la primera operación ganadora, que es en cuantía, mayor que la última operación perdedora. La primera pregunta que se puede plantear es, si se ha comentado anteriormente que tras una pérdida la f-óptima restringe la fracción de capital para amortiguar la racha de pérdidas, ¿cómo es que la siguiente operación se hace con una fracción superior? Ello es debido a que la estrategia fuzzy usa una f-óptima personalizada, que se modifica en función del valor de la salida del indicador borroso. En este caso había una clara tendencia bajista con lo que el sistema indica con un valor alto de la salida Bullish, y por tanto se aumenta la fracción de capital, lo que se traduce en un mayor número de contratos para comprar. Al igual ocurre en la pérdida que se produce tras el 27/11/2012, en la cual se adquirió 43 contratos, lo que no le impide al sistema adquirir en la siguiente operación 147 contratos. Como se puede observar la diferencia es considerable, más del triple de contratos tras una operación perdedora. Este efecto no se podría producir con una f-óptima como la planteó R. Vince, ya que, según se indicó al describirla, conforme aumentan las pérdidas disminuye la fracción óptima y por tanto se adquieren menos contratos. En este ejemplo, la estrategia fuzzy es claramente superior a las estrategias clásicas y B&H, en un mercado con tendencia bajista.

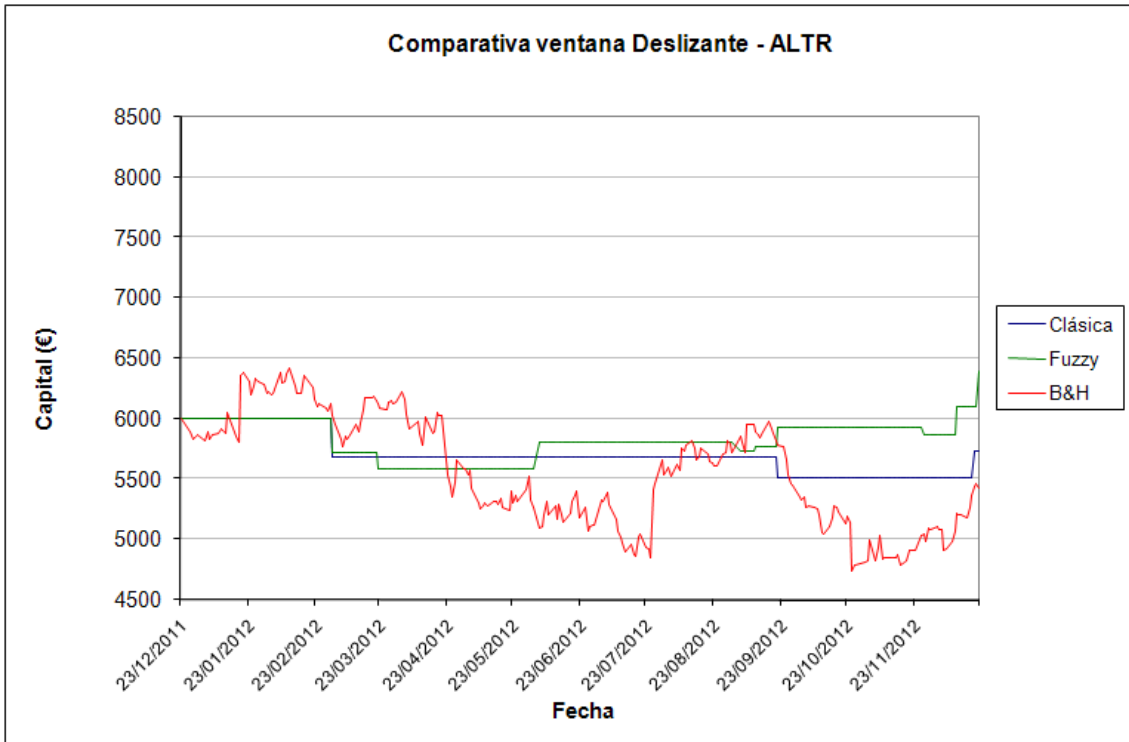


Figura 23. Comparativa de la evolución del capital disponible para el valor ALTR con ventana fija

Capítulo 6. Conclusiones y líneas futuras

En términos generales, se ha propuesto un sistema de decisión para la gestión de la inversión en Bolsa basado en reglas borrosas. Dicho sistema ha sido comparado con otro basado en reglas clásicas y como instrumento para medir el rendimiento de ambos se ha utilizado el B&H, a modo de benchmark. Ambos sistemas fueron implementados en la plataforma Ninja Trader para simular el comportamiento durante el período de evaluación, utilizando dos métodos (ventana fija y deslizante).

De todo ello se extraen las siguientes conclusiones:

- Se implementaron ambos sistemas y se validaron utilizando el método de ventana fija. En la tabla 11 se puede observar como el sistema fuzzy obtiene mejores resultados en 6 de los 10 casos estudiados. Además el sistema fuzzy tan sólo en 2 de los casos obtiene pérdidas mientras que el sistema clásico resulta con pérdidas en 5 de los casos. Sin embargo, la mayor ganancia se obtiene para el sistema clásico en uno de los casos, aunque también, en el sistema clásico, se ha obtenido la mayor pérdida. Si se observa, en vez de las ganancias/pérdidas obtenidas, el máximo DD, podemos concluir que para el sistema fuzzy obtiene un mayor valor en la mayoría de los casos. Esto es debido a que para aprovechar el potencial que proporciona la f-óptima es necesario tener un número considerable de operaciones pasadas para realizar un cálculo correcto de su valor.
- Por el motivo anterior, y viendo la evolución del capital para todos los valores, en el cual se aprecia como va decayendo la efectividad a medida que transcurre el período de validación, se planteó si realmente el período de optimización/validación escogido era el adecuado para los sistemas. Por ello, se validaron ambos sistemas utilizando el método de ventana deslizante, con un tamaño de ventana de 3 meses. Además, los resultados obtenidos en las operaciones durante el período de entrenamiento, se utilizaron como histórico de operaciones para el cálculo de la f-óptima. Como resultado (ver tabla 18) se obtuvo una gran mejora en el sistema fuzzy, en el cual para los

10 casos estudiados se obtuvieron beneficios. Para el sistema clásico, se obtuvieron beneficios en 6 de los 10 casos estudiados. Además en el sistema fuzzy se obtuvieron, en 7 casos, mejores resultados que en el sistema clásico. Sin embargo, observando el máximo DD, se observa que se obtiene, tan sólo, una leve mejoría, y sigue siendo peor que en el caso del sistema clásico. Ello es debido a que realmente el histórico de operaciones que se le ha introducido a la f-óptima, es un histórico basado en el resultado del proceso de optimización, y por tanto se tratan de los resultados óptimos del sistema e implica, en cierto modo, obtener una f-óptima mas "agresiva", ya que la mayoría de los resultados obtenidos (e introducidos en el histórico) son resultados con altas ganancias, lo que se traduce a obtener un porcentaje mayor de capital a invertir (pero no una mayor probabilidad de acertar en las próximas operaciones, aunque le indiquemos al sistema lo contrario). Para obtener un efecto más real que produce la gestión de capital implementada en el sistema fuzzy, sería necesario validar el sistema en un período anterior al período de validación escogido, de este modo, se obtendría un histórico de operaciones real para el cálculo de la f-óptima.

- Para medir el rendimiento de ambos sistemas, se ha utilizado la estrategia B&H. Esta estrategia, como se ha explicado anteriormente, permite observar la evolución del capital en todo el período de validación y nos sirve para medir el incremento/decremento de valor en los mercados alcistas/bajistas respectivamente en los extremo de dicho período. Como se observa en la tabla 20 el B&H supera en la mayoría de los casos a ambas estrategias. Ello es debido a dos motivos:
 - o En primer lugar, como se ha comentado en el capítulo primero de esta memoria, el objetivo principal del presente trabajo es analizar las mejoras que produce utilizar un sistema de decisión basado en lógica borrosa al que se le ha añadido un sistema de gestión de capital que aprovecha la información proporcionada por el sistema borroso frente a un sistema clásico. Esta comparación se realiza utilizando, para ambos sistemas, el mismo conjunto de indicadores. Por tanto, el objetivo del proyecto no fue encontrar un conjunto de indicadores que obtuviera un alto ratio de aciertos/fallos para superar el B&H, sino que dado un conjunto de indicadores, qué mejorías se obtiene si se implementa un sistema de decisión borrosa frente a un sistema clásico. A pesar de ello, se observa, como para mercados laterales o bajistas, utilizando el sistema de decisión fuzzy, se siguen obteniendo beneficios, frente a las pérdidas que se obtienen utilizando la estrategia B&H. Por tanto, la estrategia B&H depende fuertemente de la evolución del mercado, mientras que en la estrategia fuzzy, se pueden obtener beneficios cuando la evolución del mercado no es favorable. Además, usando la estrategia fuzzy, se tiene un control del riesgo asumido al entrar en el mercado, mientras que en la estrategia B&H el riesgo viene marcado por el mercado.
 - o En segundo lugar, si se observan las gráficas comparativas para todos los casos (ver anexo) se observan como en la mayoría de los

casos estudiados, se tratan de mercados alcistas y fuertemente alcistas, por lo que las ganancias obtenidas con el B&H son altas.

Por tanto, como resumen, se pueden extraer las siguientes mejoras al utilizar el sistema borroso implementado frente al sistema clásico:

- Una mayor probabilidad de obtener beneficios durante el período de validación.
- Mayor probabilidad de obtener mayores beneficios durante el período de validación.
- En el caso de obtener pérdidas, el sistema fuzzy obtiene menores pérdidas que el sistema clásico (es decir, pérdidas suavizadas).

Como inconvenientes se obtiene el siguiente:

- Un mayor DD obtenido en el período de validación, aunque habría que estudiar como se comportaría el sistema fuzzy al introducir un histórico real de operaciones para el cálculo de la f -óptima.
- El sistema fuzzy, además de obtener pérdidas suavizadas (en caso de obtener pérdidas durante el período de validación), también suaviza las ganancias, por lo que en casos de obtener grandes beneficios, el sistema clásico tiene mejor comportamiento, aunque se ha producido tan sólo en uno de los 10 casos estudiados.
- Un número reducido de operaciones en el período de validación, aunque esta desventaja es común a ambos sistemas planteados, si bien es cierto, que para el sistema fuzzy el número de operaciones es ligeramente superior. Esto es debido al conjunto de indicadores elegido, el cual determina el momento de entrar en el mercado y según los resultados obtenidos, resulta lento y demasiado restrictivo a la hora de indicar dicha entrada.

Aunque los resultados obtenidos en la comparativa de ambos sistemas, el sistema fuzzy tiene un mejor comportamiento en líneas generales que el sistema clásico, se propone las siguientes ampliaciones o líneas futuras aplicables a dicho sistema para, en primer lugar solventar los puntos débiles detectados en el análisis realizado, mejorar y potenciar las ventajas que posee y en último lugar incluir otros aspectos que ayuden a complementar el sistema.

En primer lugar, como ya se ha comentado, uno de los inconvenientes detectados durante el análisis del sistema fuzzy y derivados del histórico de los resultados de las operaciones introducidos en el cálculo de la f -óptima borrosa, ha sido un DD más alto que en el sistema clásico. Para solventar este problema se propone otro sistema de adquisición de operaciones pasadas diferente al propuesto en este trabajo. El sistema propuesto podría consistir en realizar sucesivas operaciones de optimización/validación durante varios períodos (por ejemplo 3 años). De este modo, antes de ejecutar el sistema en el período de validación (al 4º año) se obtendría un histórico de operaciones resultante de validar el sistema en los anteriores períodos (3 años), el cual sería un histórico de operaciones real. De este modo, la fracción óptima se ajustaría al nivel de fuerza derivado del resultado de las operaciones reales pasadas. Además, se podría definir una ventana de operaciones históricas, debido a que las m últimas operaciones tendrían más peso que las $n-m$ operaciones anteriores

a éstas (siendo $n > m$). Esta ventana, tendría sentido aplicarla cuando se tiene un número elevado de operaciones pasadas.

Para intentar superar, en la mayoría de los casos, al B&H se propone el estudio e implementación de un nuevo conjunto de indicadores, más complejo y con un mayor número de indicadores que el propuesto en el trabajo. Además sería interesante, una vez implementado el sistema completo con el nuevo conjunto de indicadores, validar el sistema no sólo en la misma cartera que se ha usado en este proyecto, sino en otros mercados más laterales, como por ejemplo el IBEX35, y observar la diferencia de comportamiento que tienen frente a mercados alcistas y en mercados laterales, y observar cuál o cuáles mercados son los apropiados para el sistema propuesto.

En relación al último punto descrito, se plantea la expone la siguiente observación. Durante la validación del sistema, las pruebas se han realizado sobre un único valor, es decir, el capital del que se disponía se invertía en un único valor (por ejemplo AAPL) en el período de validación. Un aspecto que no cubre, ya que queda fuera del alcance de este trabajo, es la selección de una cartera de valores en la cual repartir el capital disponible. Por ejemplo, si juntamos todos los casos estudiados (10 casos) e imaginamos de que se disponía en un principio de 60.000 para invertir (6.000 x 10), es como si hubiésemos dividido el capital en 10 partes, en la cual cada parte se invierte en cada uno de los valores estudiados, por tanto nuestra cartera se compondría, en este caso, de 10 valores. Por tanto, se tendría una gráfica comparativa de resultados (para el caso de ventana deslizante) como se muestra en la figura 24.

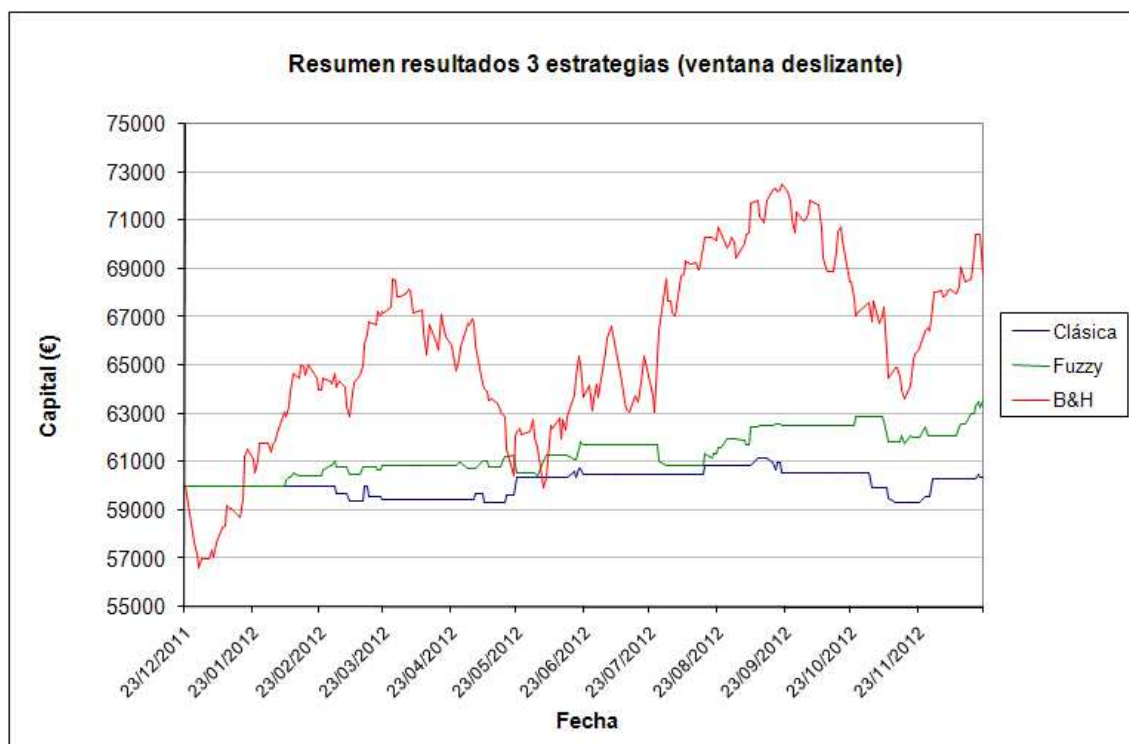


Figura 24. Comparativa de la evolución del capital disponible, resultado de la suma de todos los valores (ventana deslizante)

Si se observa el resultado final, el obtenido con el sistema fuzzy (línea verde) es mucho mayor que el obtenido con el sistema clásico (línea azul), que apenas supera (éste último) el capital inicial. Además, en las pruebas realizadas se ha podido comprobar que los momentos en los que el sistema decide entrar en cada uno de los valores son distintos y que las pérdidas y las ganancias de cada valor no están

correlacionadas, es decir, no se producen necesariamente a la vez. Este hecho, sumado a que el sistema en media proporciona ganancias en el periodo considerado, hace que la gestión de capital que divide el capital en partes iguales aplicada sobre el sistema dé lugar a una curva de capital con una pendiente positiva moderada y con dientes de sierra pequeños. Este tipo de curvas de capital se consideran muy atractivas para los inversores porque exhiben poco riesgo y son susceptibles de obtener mayores beneficios si se utiliza apalancamiento. Por el contrario, en la estrategia B&H (línea roja) a pesar de obtener mayores beneficios, proporciona grandes fluctuaciones que pueden provocar grandes pérdidas, dependiendo del momento de salida del mercado.

En el ejemplo descrito, se ha obtenido una cartera de valores, en la cual se ha repartido equitativamente el capital inicial. Por tanto, podría mejorarse se se diseña un sistema en el cual el capital disponible se reparta utilizando una metodología más eficiente, ya que según los resultados obtenidos, el sistema se comporta (obtiene mayores beneficios) en unos mercados mejor que en otros. Resulta fácil deducir, que en aquellos valores, en los cuales el sistema obtiene un rendimiento mayor, se invierta una mayor fracción del capital disponible en ese momento. Como resultado, se podría haber obtenido una mayor rentabilidad neta en el conjunto si no se hubiese repartido equitativamente el capital.

Este sistema plantearía una serie de inconvenientes a tener en cuenta, relacionados principalmente con el riesgo asumido. Como es sabido, los mercados no son independientes, es decir, tienen una cierta correlación, producidas por diversos factores, como por ejemplo al sector al que pertenece la empresa. Por tanto, el riesgo que se deriva de la f-óptima planteada, no sería válido, ya que si por ejemplo, se invierte en 2 empresas que pertenecen al mismo sector (imagínese dos constructoras) el riesgo real sería mayor que el marcado por el sistema de gestión de capital, ya que si el sector de ambas empresas sufre una caída, ambos capitales invertidos sufrirían dicha caída. Es por ello, que el sistema que optimice el reparto del capital debería basarse, no sólo en los indicadores borrosos, o el rendimiento obtenido hasta el momento para dichos valores, sino que se debería tener en cuenta otros factores, como por ejemplo el sector al que pertenecen las empresas, mercados en los que se invierte, países a los que pertenece, etc, de tal forma que se intente optimizar maximizando la rentabilidad como en minimizar la correlación de valores (y por tanto del riesgo asumido).

Otro aspecto que se plantea como ampliación futura para este trabajo, sería mejorar las condiciones de salida planteadas. Para el presente trabajo, como se ha comentado anteriormente, las condiciones de salida se fijaban en el momento de la entrada al mercado como una función proporcional al valor proporcionado por el indicador ATR de un número determinado de sesiones. En vez de establecer unas condiciones de salida fijas en el momento de la entrada al mercado se podrían plantear dos nuevos métodos:

- Establecer condiciones de salidas actualizable, las cuales se fijan en el momento de la compra (tal y como se ha planteado en este trabajo) pero en vez de salir del mercado una vez superada (suponiendo ganancias), se reajustarían según los valores proporcionados por el sistema borroso (tanto stopprofit como stoploss). De este modo, se aseguraría una parte de los beneficios (ya que se reajusta el stoploss) y se mantiene en el mercado a la expectativa de alcanzar nuevos beneficios. De este modo las condiciones de salida acompañarían prudencialmente al mercado. Este planteamiento, tendría como

inconveniente las repentinas subidas o bajadas del mercado que podrían provocar la pérdida de los beneficios aparentemente “asegurados” debidos a las diferencias que pueden ocurrir entre el cierre de una sesión con la apertura de la sesión siguiente, es decir, los denominados *gaps*. Esto es debido a que al permanecer durante un mayor tiempo en el mercado unido a que se alcanzarían los extremos de los cambios de tendencias.

- Para evitar el inconveniente anterior, se podría realizar un nuevo planteamiento en las condiciones de salida. Dicho planteamiento consiste en realizar las condiciones de salidas actualizables tal y como se han descrito, pero para asegurar una parte de las ganancias, permitir al sistema que si cambian las condiciones del mercado (por ejemplo, el conjunto de indicadores proporcione un valor menor), salir del mismo con una parte de contratos. Por el contrario, si se obtiene que se debe entrar en el mercado con más fuerza, el sistema podría comprar un mayor número de contratos. De esta forma, permite adaptar rápidamente la inversión en función de la evolución constante del mercado. Este sistema, plantea dos inconvenientes con respecto al planteamiento anterior, el primero de ellos está relacionado con las comisiones producidas en las operaciones, ya que en este caso, el número de operaciones es mayor y por tanto, parte del capital se ve en decremento producido por un número mayor de comisiones. Este aspecto, es necesario a tener en cuenta a la hora de establecer el stopprofit no pudiendo ser muy cercano al precio de entrada, ya que se podría perder capital incluso en una operación ganadora si el beneficio de la operación es pequeño. Otro inconveniente, es que este sistema es más sensible a los *deslizamientos*, es decir, a la diferencia de precio que existe entre el envío de la orden y el momento en el que se hace efectiva. Dicho deslizamiento, se puede producir en ambos sentidos, es decir, habrá casos en los que es beneficioso y otros en los que perjudica a la rentabilidad de la operación.

Por último, la mejora que se plantea como ampliación futura guarda relación con la técnica utilizada en la implementación del sistema. Como se ha planteado en el capítulo 1, existen multitud de estudios en los que se plantean diferentes técnicas, dentro de la inteligencia artificial, para la inversión en bolsa. Dichas técnicas son por ejemplo, redes neuronales, árboles de regresión, máquinas de vectores soporte, algoritmos genéticos, etc. Por tanto, se puede plantear un sistema de decisión que no se base exclusivamente en reglas borrosas, sino que se base en diferentes técnicas de las enumeradas, o bien, plantear un sistema en el que se obtenga la información de entrada/salida del mercado por diferentes técnicas y en un nivel superior implementar un sistema de decisión fuzzy que borrosifique dichos “subsistemas” como si de indicadores (tal y como se ha planteado en este trabajo) se tratasen.

Como se puede observar, existen multitud de líneas en las cuales profundizar e incorporar al sistema propuesto en el presente trabajo y que provocarían una evolución del mismo, resultando interesante analizar y observar las posibles mejoras en los resultados que se obtendrían. De este modo, se podría ampliar el alcance e incorporar nuevos objetivos al futuro proyecto, como por ejemplo obtener un beneficio razonable con un riesgo pequeño con el sistema completo planteado. Además, debido a que las pruebas realizadas resultan limitadas porque se centran en diez compañías de un mismo país, en un mismo sector y en un mismo marco temporal donde la mayoría de dichas compañías siguen una senda alcista. Por tanto, una posible

ampliación de trabajo consiste en aumentar el marco de pruebas para determinar cómo de efectivo resulta el sistema borroso en otros contextos.

6.1. *Difusión y publicación de resultados*

Rodrigo Naranjo, Javier Arroyo, Albert Meco y Matilde Santos, “Sistema fuzzy de decisión para la gestión de capital en inversión en bolsa”, CAEPIA 2013, Simposio Lógica Fuzzy y Soft Computing, Madrid, 17-20 Septiembre 2013 (aceptado).

Bibliografía

1. Lo Andrew y MacKinley Craig. "Stock market price do not follow random walk: Evidence from a simple specification test. Review of Financial Studies", 1988
2. Franklin Allen, Risto Karjalainen, "Using genetic algorithms to find technical trading rules" Journal of Financial Economics 51. Elsevier, 1999
3. White Halbert. "Economic prediction using neural networks: the case of IBM daily stock returns. Neural Networks in Finance and Investing", Ed. Trippi y Turban, 1988
4. Kartikeya Ghia, "Statistical applications for finance: Regression tree and distribution-based models for equity trading", 2007
5. Kumar Manish, Thenmozhi M. "Forecasting Stock Index Movement: A Comparison of Support Vector Machines and Random Forest". Indian Institute of Capital Markets 9th Capital Markets Conference Paper, 2006
6. Parisi Antonio, Rebolledo Julio, Cornejo Edinson, "Modelos de lógica y lógica borrosa en la predicción del IPSA", 2006.
7. Kelly John L. "A new interpretation of information rate", 1956
8. Vince Ralph "Portfolio Management Formulas" Willey and Sons, New York, 1990
9. Jones Ryan "The Trading Game", Wiley and Sons, 1999.
10. Wilder, J. Welles "New Concepts in Technical Trading Systems". Trend Research, 1978.
11. Stendahl y Zamansky "Secure Fractional Money Management" (Stocks and Commodities, V. 16:7, pp. 318-323), 1988
12. Lofti A. Zadeh, "Fuzzy Sets", Information and Control 1965
13. Meco Albert "Sistema de trading fuzzy basado en reglas sobre indicadores técnicos", 2011

14. Martín Bonifacio, Sanz Alfredo “Redes Neuronales y Sistemas Borrosos”, Ra-Ma 3ª edición, 2006
15. Araujo Lourdes, Cervigón Carlos “Algoritmos Evolutivos. Un enfoque práctico”, editorial Ra-Ma, 2009
16. Russell Stuart, Norvig Peter “Inteligencia Artificial. Un enfoque modern”, editorial Pearson Prentice Hall, 2ª edición, 2004.
17. Gradojevic Nikola, Gençay Ramazan “Fuzzy logic, trading uncertainty and technical trading” Journal of Banking & Finance Volume 37, Issue 2. Elsevier, 2013.
18. Ghandar Adam, Michalewicz Zbigniew, Zurbruegg Ralf, “Enhancing Profitability through Interpretability in Algorithmic Trading with a Multiobjective Evolutionary Fuzzy System” Lectures Notes in Computer Science, Volume 7492, 2012.
19. Murphy John “Análisis técnico de los mercados financieros” Ediciones Gestión 2000, 2007
20. McDowell Bennert A., “A trader’s money management system” John Wiley & Sons Ltd 2008
21. Kaufman Perry “Nuevos sistemas y métodos de trading” John Wiley & Sons Ltd 4ª edición, 2010.
22. Somada Mario, De la Loma Alexey. Revista “Gestión Alternativa” www.gestionalternativa.net
23. Etzkorn Mark, Goad Molly, Simons Howard. Revista “Active Trader” www.activetradermag.com

Webs especializadas

24. Artículos Forex: www.efxto.com
25. Investopedia: www.investopedia
26. Rankia: www.rankia.com
27. TradingSys: www.tradingsys.org
28. NinjaTrader: www.ninjatrader.com
29. X-Trader: www.x-trader.net
30. Hispatrading: www.hispatrading.com/

Listado de siglas, abreviaturas y acrónimos

AAPL: Apple Inc.

ADBE: Adobe Systems Incorporated

ADP: Automatic Data Processing Inc.

ADSK: Autodesk Inc.

ADX: Average Direccional Index

AKAM: Akamai Technologies Inc.

ALTR: Altera Corporation

ALXN: Alexion Pharmaceuticals Inc.

AMAT: Applied Materials Inc.

AMGN: Amgen Inc.

AMZN: Amazon.com Inc.

ATR: Average True Range

B&H: Buy and Hold

DD: DrawDown

FAM : Fuzzy Associative Memory

GM: Geometric Mean

HPR: Holding Period Return

MACD: Moving Average Convergence Divergence

MyMACD: My Moving Average Convergence Divergente

NT: Ninjatrader

PL: profit / loss

R: Risk factor

RoR: Riesgo de Ruina

RSI: Relative Strength Index

SMA: Simple Moving Average

TR: True Range

TWR: Terminal Wealth Relative

Anexos

Se adjunta como anexo el documento titulado “Anexo 1: Pruebas y resultados”