



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA OPERAR EN EL MERCADO DE DIVISAS USANDO REGLAS DE ASOCIACIÓN**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN DE OPERACIONES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

**HUGO ANDRES ARANEDA CORDIER**

PROFESOR GUÍA

MARCEL GOIC FIGUEROA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

LUIS ABURTO LAFOURCADE

RICHARD WEBER HAAS

SANTIAGO DE CHILE

AÑO 2015

## RESUMEN EJECUTIVO

El análisis técnico es utilizado extensamente por la mayoría de los inversionistas de mercados financieros, siendo el mercado de divisas el con mayor desarrollo y volumen de transacciones a nivel mundial. Pese a su utilización el 90% de los inversionistas pierde dinero y sólo el 10% restante es exitoso invirtiendo en los mercados financieros. En la actualidad, el uso de sistemas de transacción automatizados basados en indicadores de análisis técnico es una herramienta utilizada cada día más por los inversionistas debido al fácil acceso de software de transacción que permite automatizar las operaciones de los clientes.

Con el presente trabajo, se busca encontrar estrategias de compra rentables para la divisa más líquida, el euro-dólar, utilizando reglas de decisión complementadas con estrategias de money management. Por lo anterior, el objetivo principal del proyecto es encontrar reglas de asociación rentables de compra en un horizonte de 12 años utilizando indicadores técnicos que cuantifican tendencia, volatilidad y momentum. El sistema constituido por las reglas de decisión encontradas serán programadas en MT4 para realizar el backtesting correspondiente del sistema y al mismo tiempo tener un prototipo funcional que permita generar operaciones automáticas de compra en el mercado de divisas.

La metodología se enfoca en encontrar las relaciones de orden existentes entre los valores de los indicadores técnicos y el movimiento en el precio del euro-dólar en base a datos transaccionales pasados. Se realiza un análisis univariado utilizando indicadores de cada categoría por separado y posteriormente se conjugan todos los indicadores en un análisis multivariado. Para evaluar cada regla de asociación se utilizan los indicadores de soporte, confianza y se introduce la contraconfianza como indicador, que busca registrar los escenarios negativos asociados a una regla de decisión determinada.

El resultado obtenido es un sistema de transacción automatizado de compras constituido por 98 reglas de asociación que luego de incorporar estrategias de money management y algoritmos genéticos para optimizar los niveles de take profit y stop loss, en un horizonte de 12 años tuvo un desempeño superior en un 24% a la estrategia buy and hold y que superó en el peor de los casos en un 96% al resultado obtenido por sistemas automatizados de trading utilizando las señales obtenidas por un sólo indicador técnico.

Como conclusión del trabajo realizado se obtiene que las relaciones entre los valores de indicadores técnicos y el movimiento del precio de una divisa pueden ser correctamente evaluadas con el sistema construido, ya que las decisiones de compra basadas en su utilización permitieron obtener resultados económicos positivos y superar a los resultados obtenidos por otros sistemas basados en otras reglas.

Finalmente, dentro de las extensiones a este trabajo, se encuentran evaluar reglas de asociación asociadas a compra y venta y extender el análisis a otras divisas o incluso a otros activos pertenecientes a mercados financieros diferentes.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Descripción Del Problema.....</b>	<b>3</b>
2.1	Descripción del mercado de divisas y del ambiente en que se hace trading. ....	3
2.1.1	Pares de divisas .....	4
2.1.2	Tamaño del Mercado Forex y liquidez .....	4
2.1.3	Sesiones de Trading .....	5
2.1.4	Métricas de tipos de cambio.....	6
2.2	Utilización de indicadores técnicos para la generación de reglas de trading. ....	6
2.2.1	Definición de mercado con tendencia .....	7
2.2.2	ADX en un mercado con tendencia .....	8
2.2.3	Medias móviles en un mercado con tendencia.....	9
2.3	Búsqueda formal de reglas que puedan generar un sistema de trading.....	11
2.3.1	Indicadores de tendencia .....	12
2.3.2	Indicadores de momentum .....	15
2.3.3	Indicadores de volatilidad .....	17
2.3.4	Otros indicadores .....	18
2.4	Descripción del ámbito de aplicación.....	20
<b>3</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>21</b>
3.1	General .....	21
3.2	Específicos.....	21
3.2.1	Evaluar la utilidad de distintas variables de análisis técnicos para la construcción de reglas de asociación. ....	21
3.2.2	Encontrar un conjunto de reglas que tengan poder predictivo para determinar momentos de compra de EURUSD. ....	21

3.2.3	Construir un sistema automático de trading basado en la conjunción de múltiples reglas.	21
3.2.4	Evaluar el desempeño del sistema automatizado de trading.....	21
<b>4</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>23</b>
4.1	Descripción general de la metodología. ....	23
4.1.1	Selección y limpieza de datos. ....	23
4.1.2	Determinación de variables relevantes.....	23
4.1.3	Aplicación de reglas de asociación univariadas.....	24
4.1.4	Aplicación de reglas de asociación multivariadas .....	24
4.1.5	Evaluación de la solución.....	24
4.2	Reglas de asociación aplicadas a trading. ....	25
4.2.1	Ilustración de Incorporación de Riesgo en Identificación de Reglas.....	27
<b>5</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>30</b>
5.1	Selección y pre-procesamiento de los datos .....	30
5.2	Análisis Univariado .....	32
5.3	Análisis Multivariado .....	36
5.4	Evaluación y Backtesting .....	40
<b>6</b>	<b>Conclusiones y Discusión .....</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>52</b>

# 1 Introducción

---

El mercado de divisas, también conocido como Forex, abreviatura de Foreign Exchange es un mercado mundial y descentralizado (o over the counter) en el que se negocian pares de monedas tales como el USDCLP (dólar-peso chileno). Este mercado nació con el objetivo de facilitar el flujo monetario que se deriva del comercio internacional.

El análisis del comportamiento de los distintos tipos de divisas se divide en análisis fundamental y análisis técnico. El análisis fundamental se relaciona con las variables macroeconómicas que afectan a la divisa de un país y el análisis técnico se relaciona con el análisis estadístico del precio y la aplicación de diversos indicadores que permiten identificar tendencia, momentum, volatilidad y otros parámetros que se derivan del comportamiento del precio [11]. La utilización del análisis técnico y sus indicadores permiten generar señales de compra y venta. Lo anterior, complementado con técnicas de control de riesgo (o Money management), constituye una estrategia de trading [27].

El **análisis fundamental** y el análisis técnico son complementarios y no excluyentes. El análisis fundamental permite identificar **qué moneda comprar o vender** y el **análisis técnico** permite identificar el momento más adecuado, es decir, el **cuándo comprar o vender** [10].

En esta memoria se utilizarán estrategias de trading de compra derivadas del análisis técnico del mercado de divisas y particularmente de la divisa más transada a nivel mundial, el EURUSD (Euro-dólar americano) para identificar condiciones de compra y venta de monedas para la construcción de una estrategia de trading que pueda ser ejecutada de manera automática.

La presente memoria se centra en la búsqueda de reglas de asociación rentables para el mercado de divisas utilizando data mining o minería de datos. La data histórica para dicha búsqueda se obtendrá usando Metaquotes Software, creadores de la plataforma de trading llamada Metatrader 4 (MT4) y que es la plataforma más utilizada por los brokers que ofrecen transacciones de divisas a nivel mundial. Dentro de los brokers que utilizan MT4 como plataforma de transacción se encuentran Fxcm, Alpari, Ibfx, Fxdd, Oanda, Fxsolutions, Dukascopy sólo por nombrar los más importantes. En Chile, existen dos brokers de divisas importantes en términos de volumen de transacciones: Fxcm y ForexChile. Ambos utilizan MT4 como plataforma de transacción de divisas para sus clientes.

Una plataforma de trading es un software en el cual se muestran las puntas de compra y venta de cada divisa y las cuales se actualizan constantemente en base a la mejor oferta y demanda que presenten todos los bancos que proporcionan liquidez al broker. Para el objeto de esta memoria se utilizará el modelo de transacción en el cual se compra al precio correspondiente a la punta de venta y se vende al precio correspondiente a la punta de compra, no existiendo comisión de por medio por parte del broker. El broker cobra sólo la diferencia existente entre la punta de compra y la punta de venta (spread). Esta es la forma de operar de la gran mayoría de los brokers existentes.

Las reglas de asociación serán encontradas utilizando indicadores de análisis técnico usados a nivel mundial por más de 40 años en la industria del trading y que son clasificados en 4 categorías: indicadores de tendencia, indicadores de momentum, indicadores de volatilidad y otros. Dentro de los indicadores de tendencia se utilizarán el Adx, Macd, Medias Móviles Simples, Medias Móviles

Exponenciales y el Parabolic Sar. Dentro de los indicadores de momentum se utilizarán el Rsi y el Stochastic. Dentro de los indicadores de volatilidad se utilizarán el Atr y Bollinger Bands. Adicionalmente se utilizarán Fractals y Pivot Points que permiten identificar posibles niveles de soporte y resistencia [11]. La idea es encontrar combinaciones que generen una alta probabilidad de un trade rentable utilizando indicadores pertenecientes a las distintas categorías.

En términos de la temporalidad del problema, se buscaran reglas de asociación rentables de compra en el marco de tiempo diario, aplicado a un horizonte de 13 años (2000-2012). Una vez encontradas dichas reglas, se procederá a construir un sistema de trading automatizado que simulará la realización de una transacción cuando dichas reglas se cumplan y se presentará el desempeño obtenido por dicho sistema automatizado. Finalmente, se comparará con el rendimiento obtenido por otros sistemas automatizados y con la estrategia buy and hold.

El sistema de trading automatizado, será un prototipo funcional. Incluirá técnicas de money management para controlar el riesgo y será utilizado sólo para evaluar el desempeño de las reglas encontradas en el pasado. No obstante lo anterior, el prototipo podrá utilizarse para realizar transacciones futuras basadas en las reglas encontradas de manera absolutamente automatizada.

Es necesario destacar que la literatura no ha explorado este enfoque antes y las experiencias exitosas de aplicaciones de data mining en finanzas son escasas.

Adicionalmente, los resultados obtenidos en esta memoria pueden ser utilizados con algunas modificaciones simples para obtener reglas de asociación rentables de compra y venta en los marcos de tiempo diarios e intradiarios.

## 2 Descripción Del Problema

---

### 2.1 Descripción del mercado de divisas y del ambiente en que se hace trading.

Cada vez que viajamos a un país que no sea el nuestro, necesitamos convertir nuestra moneda local en la moneda del país que estamos viajando. Por ejemplo si viajamos desde Estados Unidos a Japón probablemente en una caja de cambio en el aeropuerto veamos en los letreros de tipo de cambio que 1 dólar corresponde a 100 yenes aproximadamente. Es decir, podemos comprar 100 yenes con un dólar. Al hacer esto, en esencia estamos participando en el mercado de divisas o Forex, estamos cambiando una moneda por otra. En términos de Forex, asumiendo que somos americanos viajando a Japón, hemos vendido dólares americanos y hemos comprado yenes. Al volver al aeropuerto, debemos cambiar los yenes que nos quedaron a dólares y nos damos cuenta de que el tipo de cambio ha cambiado. Son estas variaciones en los tipos de cambio las que nos permiten hacer dinero en el mercado de Forex. En general, el tipo de cambio de una moneda versus otras refleja generalmente la condición de la economía de ese país en comparación con la economía de otros países.

El mercado de Forex es el mercado financiero más grande del mundo. Comparado con el mercado accionario más grande del mundo (NYSE) que transa \$22.4 billones en un día, en el mercado de forex se transan \$5 trillones en un día como se muestra en la figura 1 [34].

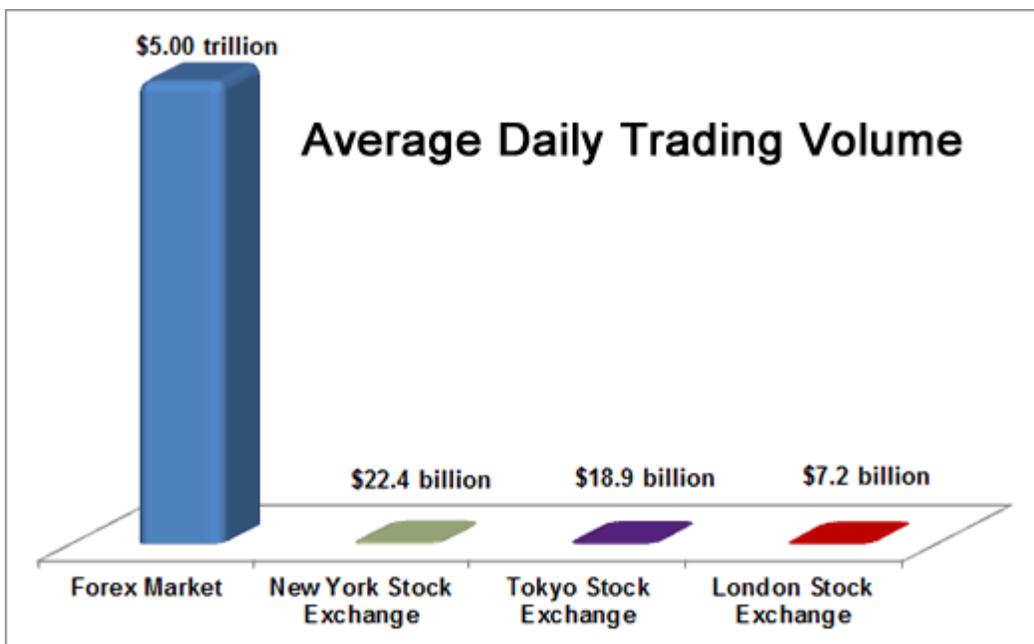


Figura 1: Promedio diario de transacciones en mercado de forex y las principales bolsa del mundo.

### 2.1.1 Pares de divisas

Una transacción de Forex es la compra y la venta simultánea de una moneda. Las monedas son transadas a través de un broker o dealer y son transadas en pares; por ejemplo el euro y el U.S. dólar (EUR/USD) o la libra esterlina (British Pound) y el Yen Japonés (GBP/JPY).

Cuando compramos el par EUR/USD lo que estamos haciendo es comprar Euros y vender dólares americanos. De la misma forma, cuando vendemos el par EUR/USD, lo que estamos haciendo es vender Euros y comprar dólares americanos.

Los pares listados en Tabla 1 a continuación son considerados los “majors”. Todos estos pares contienen el dólar americano (USD) en un lado y son los que se transan con mayor frecuencia. Los majors son los pares más líquidos y más transados en el mundo entero.

Pair	Countries	FX Geek Speak
EUR/USD	Euro zone / United States	"euro dollar"
USD/JPY	United States / Japan	"dollar yen"
GBP/USD	United Kingdom / United States	"pound dollar"
USD/CHF	United States/ Switzerland	"dollar swissy"
USD/CAD	United States / Canada	"dollar loonie"
AUD/USD	Australia / United States	"aussie dollar"
NZD/USD	New Zealand / United States	"kiwi dollar"

Tabla 1: Pares de Divisas más transados o majors [34].

### 2.1.2 Tamaño del Mercado Forex y liquidez

A diferencia de otros mercados financieros como el NYSE (New York Stock Exchange), el mercado de forex spot no tiene una localización física o una bolsa (exchange) central. El mercado de Forex es considerado un mercado de valores con transacciones mediante red electrónica (Over the Counter) o interbancario, debido al hecho de que el mercado entero es operado electrónicamente, entre una red de bancos, continuamente en un periodo de 24 horas. La Figura 2 muestra la distribución en volumen de las 7 monedas más transadas en el mercado de Forex. *Debido a que dos monedas son incluidas en cada transacción, la suma de los porcentajes en el gráfico anterior totaliza 200% en vez de 100%.*

El dólar es la moneda más transada con un 84.9% de todas las transacciones y el euro se encuentra en segundo lugar con 39.1% de todas las transacciones.

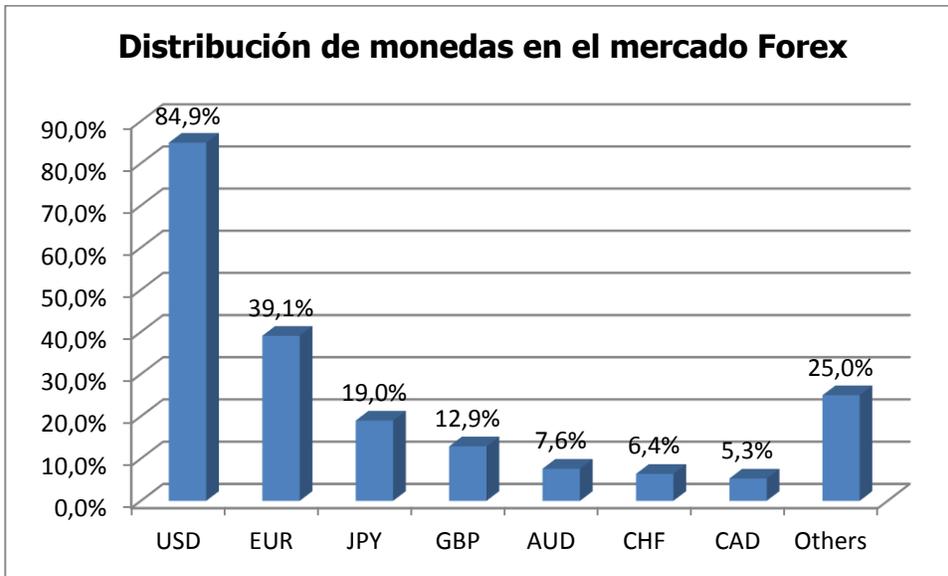


Figura 2: Distribución de monedas en el mercado de divisas [17].

Del gráfico anterior se desprende que el par que concentra la mayor cantidad de transacciones en el mercado de Forex y por ende el más líquido es el EUR/USD.

### 2.1.3 Sesiones de Trading

Aunque el Mercado FOREX está técnicamente abierto las 24 horas, la frecuencia de transacciones puede variar significativamente de acuerdo a los horarios de apertura y cierre de los mayores bancos a nivel mundial. Dado lo anterior, debemos determinar cuáles son los mejores momentos del día para operar en el mercado de Forex.

El mercado de Forex se puede dividir en cuatro grandes sesiones de trading: La sesión de Sydney, la sesión de Tokyo, la sesión de Londres y la sesión de New York. A continuación se presenta 2 tablas con los horarios de apertura y cierre para cada sesión de trading en horarios de verano e invierno (Tabla 2 y Tabla 3):

#### Verano (aproximadamente de abril a octubre)

Time Zone	EST	GMT	
Sydney	Open 5:00	PM 9:00	PM
Sydney Close	2:00 AM	6:00 AM	
Tokyo	Open 8:00	PM 12:00	AM
Tokyo Close	5:00 AM	9:00 AM	
London	Open 3:00	AM 7:00	AM
London Close	12:00 PM	4:00 PM	
New York	Open 8:00	AM 12:00	PM
New York Close	5:00 PM	9:00 PM	

Tabla 2: Horario de transacción de verano del mercado de divisas en los principales países [34].

## Invierno (aproximadamente de octubre a abril)

Time Zone	EDT	GMT	
Sydney	Open 5:00	PM 10:00	PM
Sydney Close	2:00 AM	7:00 AM	
Tokyo	Open 7:00	PM 12:00	AM
Tokyo Close	4:00 AM	9:00 AM	
London	Open 3:00	AM 8:00	AM
London Close	12:00 PM	5:00 PM	
New York	Open 8:00	AM 1:00	PM
New York Close	5:00 PM	10:00 PM	

Tabla 3: Horario de transacción de invierno del mercado de divisas en los principales países [34].

*Las horas actuales de apertura y cierre están basados en horas locales. Esto varía durante los meses de Abril y Octubre debido a que algunos países cambian a o desde el horario de verano (DST). El día del mes en que cada país puede cambiar a o desde el horario de verano también varía.*

Podemos apreciar que en cada sesión, hay un periodo de tiempo en el cual, dos sesiones se encuentra abiertas al mismo tiempo. Durante el invierno, de 3:00-4:00 AM EDT, las sesiones de Tokyo y Londres se traslapan y desde las 8:00-12:00 pm EDT, las sesiones de Londres y New York se traslapan.

Naturalmente, estos son los momentos del día con más movimiento debido a que hay más volumen cuando dos mercados están abiertos al mismo tiempo. Dado lo anterior, cuando dos sesiones se traslapan es el mejor momento para realizar transacciones en el mercado de Forex. Para efectos de esta memoria se realizarán las transacciones a las 8 am hora de New York y se cerrarán cuando el precio alcance la condición de salida, ya sea de utilidad o pérdida. Al utilizar este mecanismo de evaluación, se debe definir un rango en el cual evaluaremos la rentabilidad de la transacción. Los valores de los indicadores técnicos serán registrados utilizando el precio de cierre en el marco de tiempo diario de un periodo cualquiera  $t$  y se evaluará una transacción realizada en el periodo siguiente ( $t+1$ ) del marco de tiempo diario.

### 2.1.4 Métricas de tipos de cambio

La unidad de medida para expresar el cambio de valor entre dos monedas se llama “pip”. Si el EUR/USD se mueve de 1.2250 a 1.2251, ese 0.0001 de aumento en USD se llama un pip. Un pip es usualmente el último decimal de la cotización. La mayoría de los pares tienen 4 decimales, pero existen algunas excepciones como los pares que incluyen el Yen que tienen 2 decimales. El pip es la variación más pequeña en el precio de una divisa y se utiliza para cuantificar la utilidad o pérdida obtenida en una transacción.

## 2.2 Utilización de indicadores técnicos para la generación de reglas de trading.

Como se mencionó en la introducción para encontrar reglas de trading utilizaremos indicadores de análisis técnicos utilizados mundialmente en la industria del trading y que son clasificados en 4

categorías: indicadores de tendencia, indicadores de momentum, indicadores de volatilidad y otros. Podemos ganar dinero cuando el mercado se mueve al alza e incluso cuando el mercado se mueve a la baja pero siempre nos será muy difícil ganar dinero cuando el mercado prácticamente no se mueve (mercado lateral o sin tendencia). Dado lo anterior, resulta importante poder identificar cuándo un mercado se encuentra con tendencia o no.

### 2.2.1 Definición de mercado con tendencia

Un mercado con tendencia es aquel en el cual el precio generalmente se mueve en una dirección. Seguramente, el precio va a ir en contra de la tendencia ocasionalmente pero mirando en periodos de tiempo mayores se ve con mayor claridad que esos movimientos fueron sólo retrocesos como se observa en la Figura 3 [10].



Figura 3: Ejemplo de un mercado con tendencia bajista (downtrend) [34].



Figura 4: Ejemplo de tendencias alcistas (uptrend), bajistas (downtrend) y mercado sin tendencia (sideways) [34].

La Figura 4 muestra tendencias alcistas (uptrend), tendencias bajistas (downtrend) y mercados sin tendencia definida o laterales (sideways). Las tendencias se notan usualmente por “máximos mayores” y “mínimos mayores” en una tendencia alcista (uptrend) y por “máximos menores” y “mínimos menores” en una tendencia bajista (downtrend).

Además de visualizar el precio para identificar tendencias, también se pueden ocupar herramientas técnicas para determinar si un par está en tendencia o no. A continuación se muestra a modo de ejemplo como indicadores técnico tales como el ADX y las medias móviles identifican tendencia. La definición y utilidad de todos los indicadores se presenta en la sección 2.3 del presente informe.

### 2.2.2 ADX en un mercado con tendencia

Una herramienta técnica para determinar si un mercado está en tendencia es a través del uso del indicador “Average Directional Index Indicator” o ADX.

Desarrollado por J. Welles Wilder [29], el valor de este indicador oscila entre 0-100 para determinar si el precio se mueve fuertemente en una dirección, es decir, en tendencia o simplemente es un mercado en rango. Valores mayores a 25 usualmente indican que el precio está en tendencia. Mientras más alto el número, más fuerte es la tendencia.

Sin embargo, el ADX es un indicador desfasado o retrospectivo (lagging indicator), lo que significa que no necesariamente predice el futuro. Además es un indicador no direccional, lo que significa que puede reportar una tendencia pero no se sabe si esta tendencia es alcista o bajista.

Veamos este ejemplo. La figura 5 ejemplifica los valores del indicador ADX en un mercado con tendencia bajista. Se observa que el indicador se mantiene prácticamente siempre sobre el valor 25, el cual se encuentra delimitado por una línea horizontal en la figura.



Figura 5: Ejemplo de un ADX >25 en una tendencia bajista [34].

Las figura 6 ejemplifica los valores del ADX en mercados con y sin tendencia.



Figura 6: Ejemplo de los valores de ADX en un mercado sin tendencia y con tendencia alcista (uptrend) [34].

Utilizando el ADX para identificar si un mercado está en tendencia podemos buscar patrones que nos permitan identificar bajo qué condiciones podría convenir transar en un mercado con tendencia. Un ejemplo de esto es cuántas veces se cumple que si el  $ADX > X$  con  $X$  entre 0 y 100 e intervalos de 5, si compramos en la semana  $t$  en  $t+1$  el precio de cierre fue mayor que en  $t$ .

### 2.2.3 Medias móviles en un mercado con tendencia

Otra herramienta técnica que podemos ocupar para determinar si un mercado está o no en tendencia son las medias móviles simples. A modo de ejemplo solamente, ocupemos una media móvil simple de 7 períodos, una de 20 períodos y otra de 65 períodos en un gráfico de precio. Si la de 7 se encuentra sobre la de 20 y la de 20 se encuentra sobre la de 65, entonces el indicador sugiere que el precio está en una tendencia alcista como se muestra en la figura 7.

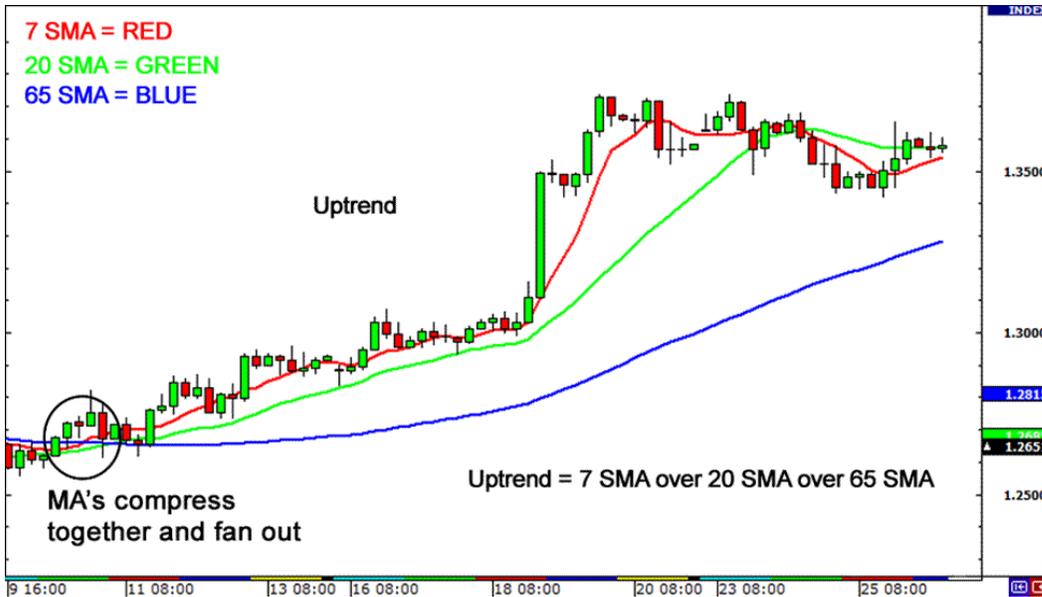


Figura 7: Uso de medias móviles para confirmar tendencia alcista [34].

En caso contrario, si la media móvil simple de 7 está debajo de la de 20, y la de 20 se encuentra debajo de la de 65, entonces el precio está en una tendencia bajista como se muestra en la figura 8.



Figura 8: Uso de medias móviles para confirmar tendencia bajista [34].

Sea  $MA(X)$  una media móvil de  $X$  periodos y  $MA(Y)$  una media móvil de  $Y$  periodos y  $MA(Z)$  una media móvil de  $Z$  periodos.

En este caso, podemos utilizar minería de datos para ver cuántas veces utilizando 2 o 3 medias móviles se cumple que cuando  $MA(x) > MA(y)$  y compramos en la semana  $t$  el precio de cierre de la semana  $t+1$  fue mayor que el precio de cierre de la semana  $t$  para el caso de 2 medias móviles con  $MA(x)$  y  $MA(y)$  entre 1 y 200 con intervalos de 1 y  $x > y$ .

En el caso de 3 medias móviles utilizando minería de datos podemos calcular cuántas veces utilizando 3 medias móviles se cumple que cuando  $MA(x) > MA(y) > MA(z)$  y compramos en la semana t el precio de cierre de la semana t+1 fue mayor que el precio de cierre de la semana t con  $MA(x)$ ,  $MA(y)$  y  $MA(z)$  entre 1 y 200 con intervalos de 1 y  $x > y > z$ .

De la misma forma como hemos ilustrado como podemos utilizar minería de datos utilizando los indicadores ADX y medias móviles para identificar tendencia, podemos utilizar minería de datos utilizando otros indicadores que consideren el momentum y la volatilidad para identificar otras señales de compra o venta. Como se ilustrará en siguientes secciones, estas señales constituirán la fuente principal de un sistema automático de trading.

### 2.3 Búsqueda formal de reglas que puedan generar un sistema de trading

En el punto anterior se ilustró cómo es posible identificar tendencia utilizando indicadores de análisis técnico. Un punto importantísimo es que los creadores de estos indicadores de análisis técnico le han asignado valores a los parámetros que se utilizan como estándares de la industria y que no necesariamente son los óptimos. De la misma forma, las condiciones que deben cumplir los distintos indicadores para comprar y vender y que se utilizan como estándares de la industria no necesariamente son las óptimas.

En esta memoria se utilizarán diferentes indicadores técnicos de tendencia, momentum y volatilidad entre otros, variando los valores por defecto de los parámetros para comprobar que no siempre arrojan los mejores resultados. Más aún que evaluaremos empíricamente si existen indicadores cuyo uso puede ser irrelevante en el mercado de divisas.

A continuación se presenta un cuadro resumen con los nombres, categorías y parámetros por defecto (en caso de existir) de todos los indicadores utilizados en esta memoria [11]. La interpretación de cada indicador se encuentra explicada junto con la descripción de cada uno.

NOMBRE	CATEGORIA	PARÁMETRO(S) POR DEFECTO
ADX	TENDENCIA	PERIODO = 14
MACD	TENDENCIA	Media 1=12, Media 2=26, Línea de señal=9)
SMA	TENDENCIA	NO EXISTE
EMA	TENDENCIA	NO EXISTE
PSAR	TENDENCIA	STEP=0.02, MAX STEP=0.2
RSI	MOMENTUM	PERIODO = 14
STOCHASTIC	MOMENTUM	%K=5, smooth=3, %D=3
ATR	VOLATILIDAD	PERIODO = 14
BBWIDTH	VOLATILIDAD	Media simple=20 Número de desv. Est.=2
PERCENT B	VOLATILIDAD	Media simple=20 Número de desv. Est.=2
FRACTALS	OTROS	NO EXISTE
PIVOT POINTS	OTROS	NO EXISTE

Tabla 4: Cuadro resumen de indicadores

Las distintas categorías que se utilizan y la descripción de los indicadores pertenecientes a cada categoría se presentan a continuación. Se omiten algunas fórmulas cuya complejidad es mayor, dado que no es relevante para el objetivo que persigue esta memoria.

### 2.3.1 Indicadores de tendencia

**ADX:** El Average Directional Movement (ADX) representa la presencia o ausencia de una tendencia. El ADX aconseja con respecto a la solidez de las fuerzas que dominan el movimiento de los precios aquí y ahora. En otras, palabras, el ADX aconseja en la inclinación de la tendencia: si es que la tendencia es probable que pueda continuar y hacerse más fuerte o está pronta a perder su fuerza. Es importante mencionar que el ADX indica presencia o ausencia de una tendencia pero sin distinguir si esta tendencia es alcista o bajista.

*Formula:*

ADX FORMULA
$ADX_{(t)} = \frac{(ADX_{(t-1)} \times (n - 1)) + DX_{(t)}}{n}$
<p>where</p> <p>n = smoothing period</p>
$DX_{(t)} = \frac{100 \times (PDI_{(t)} - MDI_{(t)})}{PDI_{(t)} + MDI_{(t)}}$
<p><math>PDI_{(t)}</math> = Positive Directional Movement = <math>\text{MAX}(H_{(t)} - H_{(t-1)}, 0)</math></p>
<p><math>MDI_{(t)}</math> = Negative Directional Movement = <math>\text{MAX}(L_{(t)} - L_{(t-1)}, 0)</math></p>

*Parámetro por defecto:* t=14 [11].

*Interpretación típica:* Si el ADX es menor que 20 no hay tendencia o la tendencia es muy débil. Si el ADX es mayor que 20 la tendencia es fuerte. Si el ADX es mayor que 40 indica niveles de sobrecompra/sobreventa y es probable que la tendencia empiece a perder fuerza.

**Medias móviles simples (SMA) y exponenciales (EMA):** Las medias móviles miden el movimiento promedio del precio en un determinado periodo de tiempo. Ellas permiten ver las tendencias y las direcciones del mercado. Para efectos de esta memoria utilizaremos las medias móviles simples (SMA) y las medias móviles exponenciales (EMA). Las SMA muestra el precio promedio para un determinado periodo de tiempo y las EMA dan prioridad a la data más reciente, por lo que reacciona a los cambios en el precio más rápido que las medias móviles simples.

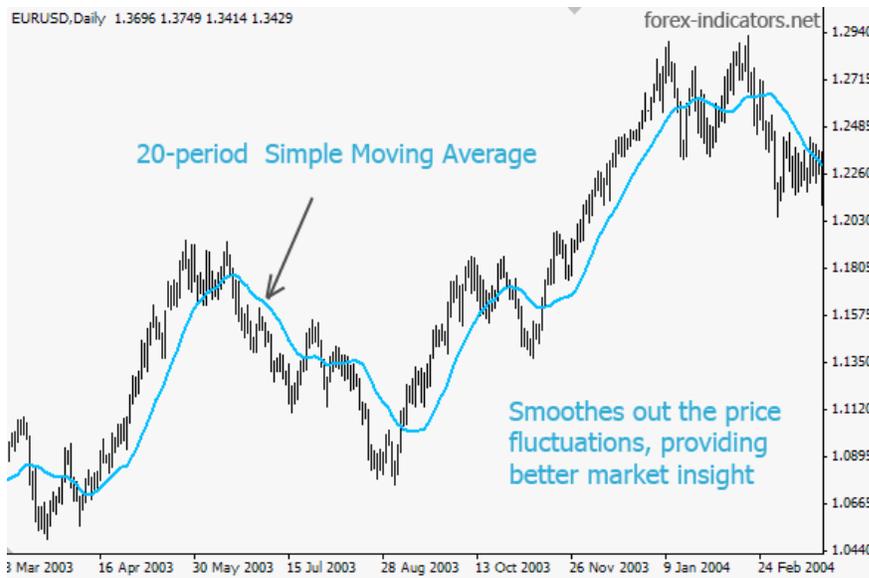


Figura 9: Ejemplo de SMA [34].

*Parámetro por defecto:* No existen parámetros definidos para las medias móviles simples y exponenciales.

*Interpretación típica:* Si la media móvil de corto plazo está sobre la media móvil de largo plazo implica tendencia alcista. Por el contrario si la media móvil de corto plazo está bajo la media de largo plazo implica tendencia bajista. Además la separación existente entre las media móviles de corto plazo y largo plazo muestra la fuerza de la tendencia existente.

**MACD:** El MACD (Moving Average Convergence/Divergence) tiene en su base medias móviles. Calcula y representa la diferencia entre dos medias móviles en un tiempo determinado. Cuando el mercado se mueve, las medias móviles se mueven con él, ampliando su diferencia (divergiendo) cuando el mercado está en tendencia y disminuyendo su diferencia (convergiendo) cuando el mercado se está calmando y la posibilidad de un cambio de tendencia aumenta. Formula y parámetros por defecto:



Figura 10: MACD [35].

*Fórmula:*

$\text{Macd: } \text{ema}(\text{cierre})\text{period1} - \text{ema}(\text{cierre})\text{period2}$
$\text{Signal line: } \text{ema}(\text{Macd})\text{period3}$

*Parámetros por defecto:*

Period1= el parámetro por defecto es 12

Period2= el parámetro por defecto es 26

Period3= el parámetro por defecto es 9

Los siguientes son los pasos para calcular el MACD

- Calcular la EMA de 12 periodos basado en el precio de cierre
- Calcular la EMA de 26 periodos basado en el precio de cierre
- $\text{MACD} = \text{EMA de 12 periodos} - \text{EMA de 26 periodos}$
- $\text{Signal Line} = \text{EMA de 9 periodos del MACD}$

*Interpretación típica:* Si el histograma es mayor que 0 sólo tomar posiciones largas y si el histograma es menor que 0 sólo tomar posiciones cortas.

**Parabolic SAR (PSAR):** El parabolic SAR es un indicador de tendencia.



Figura 11: Parabolic Sar [35].

*Parámetros por defecto:* step=0.02 y max step= 0.2

*Interpretación típica:* Si el PSAR está sobre el precio implica una tendencia bajista si el PSAR está bajo el precio implica una tendencia alcista.

### 2.3.2 Indicadores de momentum

La definición de momentum en trading es la tasa de aceleración del precio de un activo determinado. La idea de momentum se relaciona con que es más probable que el precio se siga moviendo en la misma dirección y que no cambie su tendencia.

**RSI:** El RSI o Relative Strength Index es indicador de momentum que compara el promedio de cierres al alza y a la baja en un periodo específico de tiempo.



Figura 12: RSI [35].

*Parámetros por defecto:* Periodo = 14

*Interpretación típica:* Sobre 70 implica sobrecompra y bajo 30 implica sobreventa.

**Stochastic:** El Stochastic es un indicador de momentum que consiste en dos líneas: una línea rápida %K y una línea lenta %D.

*Fórmula:*

$\%K = \frac{\text{Cierre actual} - \text{Mínimo del periodo}}{\text{Máximo del periodo} - \text{Mínimo del periodo}} * 100$ $\%D = \text{Media móvil simple de 3 periodos de \%K}$
---

El stochastic se plotea en una escala de 1 al 100.



Figura 13: Stochastic (5,3,3) [35].

*Parámetros por defecto:* %K =5, smooth=3 y %D= 3

El primer parámetro del estocástico es utilizado para calcular la línea %K, el tercer parámetro es utilizado para calcular la línea %D y el segundo parámetro se utiliza para “suavizar” la línea %K y es lo que diferencia a un estocástico rápido de un estocástico lento.

*Interpretación típica:* Sobre 80 implica sobrecompra y bajo 20 implica sobreventa.

### 2.3.3 Indicadores de volatilidad

**ATR:** El ATR (Average True Range) muestra el promedio del máximo menos el mínimo de un periodo de tiempo determinado

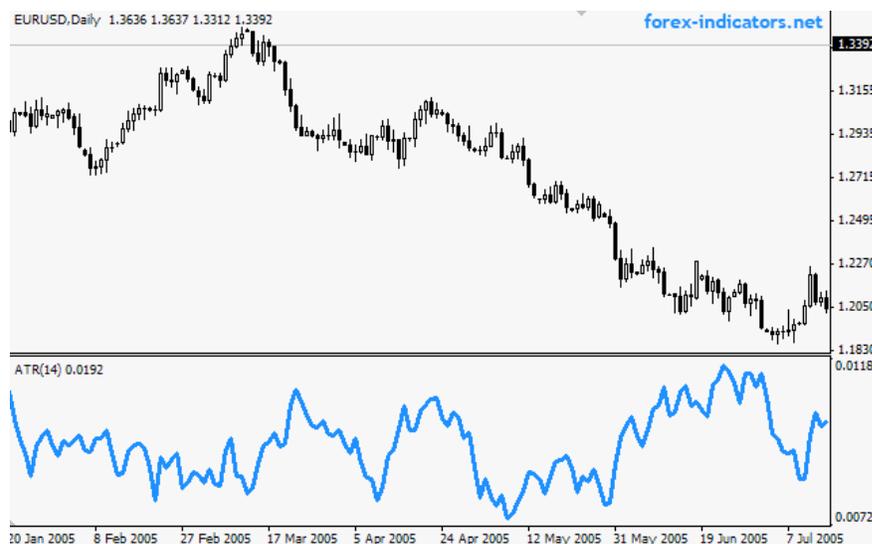


Figura 14: ATR [35]

*Parámetros por defecto:* Periodo = 14

*Interpretación típica:* El valor del ATR cuantifica cual debería ser el movimiento del precio en un periodo de tiempo determinado.

**Bollinger Bands:** Consiste en 3 bandas en cuyo interior el 95% del tiempo el precio se encuentra retenido entre ellas. La banda central es una media móvil simple. La banda de abajo es la banda central menos dos desviaciones estándar y la banda de arriba es la banda central más dos desviaciones estándar. Cuando el mercado se torna más volátil las bandas se ensanchan y cuando se torna menos volátil las bandas se contraen. Los valores que se utilizarán para el efecto de esta memoria son la diferencia porcentual entre la banda de arriba y la banda de abajo conocida como Bollinger Band Width (BBWIDTH) y %B (PERCENTB) que cuantifica el precio relativo a la banda de abajo y a la banda de arriba. 0 implica que el precio está en la banda de abajo, 0.5 implica que el precio está en la banda central y 1 implica que el precio está en la banda de arriba.



Figura 15: Bollinger Bands [36]

*Parámetros por defecto:* Media móvil simple= Período 20 y Desviaciones estándar = 2.

*Interpretación típica:* Valores muy bajos en BBWIDTH implican una probabilidad alta de que se genere una tendencia en el corto plazo, ya que BBWIDTH bajo implica una volatilidad muy baja. PERCENTB menor que 0 o mayor que 1 implica posible cambio de tendencia, ya que PERCENTB menor que 0 significa que el precio se encuentra por debajo de dos desviaciones estándar y PERCENTB mayor que 1 significa que el precio se encuentra por sobre dos desviaciones estándar.

### 2.3.4 Otros indicadores

**Fractals:** Apuntan techos y fondos donde el mercado se invierte. Para que se forme un fractal tiene que haber una serie de cinco periodos consecutivos donde el periodo de al medio debe ser el mayor precedido y seguido por dos periodos vecinos menores en cada lado.



Figura 16: Fractals [35]

*Parámetros por defecto:* no tiene

*Interpretación típica:* Los fractales identifican puntos de compra y de venta

**Pivot Points:** Los pivot points son tres niveles de soporte (S1, S2 y S3) y tres niveles de resistencia (R1, R2 y R3) que se plotean sobre y bajo un pivote central y se basan en los valores máximo, mínimo y cierre del periodo anterior. Se define soporte en trading como aquellos niveles de precio que actúan como piso al impedir que el precio sea presionado a la baja. Por el contrario, se define resistencia como aquellos niveles de precio que actúan como techo de manera de impedir que el precio sea presionado al alza.

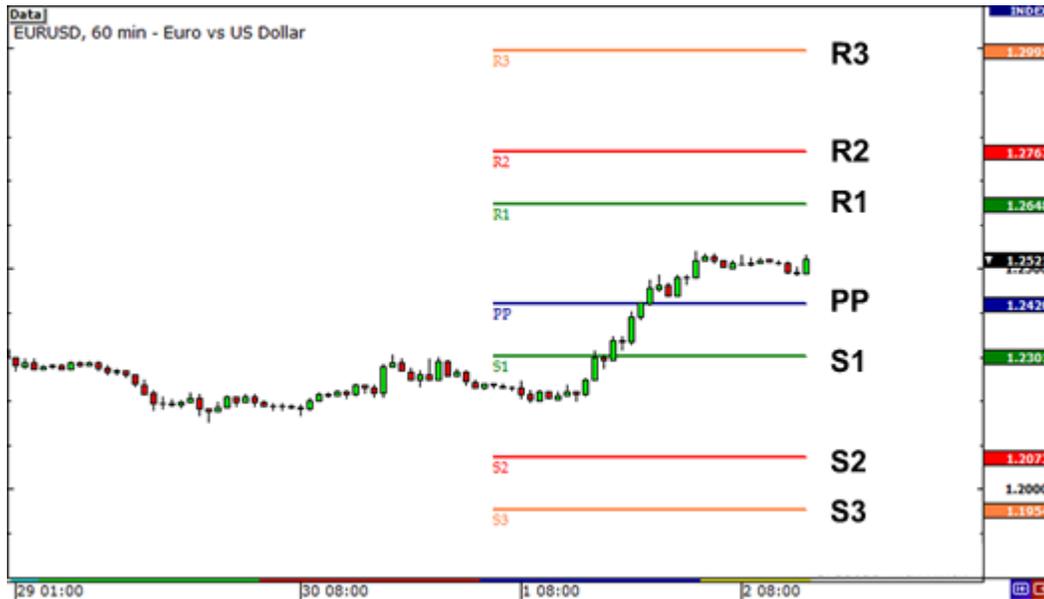


Figura 17: Pivot Points [34].

*Fórmula:*

PP (PIVOTE CENTRAL):  $(\text{high} + \text{low} + \text{close})/3$

R1:  $(2 * \text{PP}) - \text{low}$

R2:  $\text{PP} + (\text{high} - \text{low})$

R3:  $\text{high} + 2 * (\text{PP} - \text{low})$

S1:  $(2 * \text{PP}) - \text{high}$

S2:  $\text{PP} - (\text{high} - \text{low})$

S3:  $\text{low} - 2 * (\text{high} - \text{PP})$

*Parámetros por defecto:* No tiene

*Interpretación típica:* Los pivot points identifican tres posibles resistencias y tres posibles soportes basados en el movimiento del precio en el periodo anterior.

La interpretación típica muestra como ciertas condiciones que se cumplen en los indicadores gatillan acciones de compra y venta basados en el movimiento del precio.

En secciones posteriores, se mostrará que algunos de estos indicadores son más precisos utilizando parámetros distintos a los por defecto y más aún que las señales de algunos indicadores resultan irrelevantes al momento de evaluar los resultados obtenidos en las señales de compra.

#### **2.4 Descripción del ámbito de aplicación.**

Para efectos de este estudio se utilizará la data del par más líquido de divisas, el EUR/USD en el marco de tiempo diario y en un horizonte de 13 años, partiendo el año 2000 y terminando el año 2012 inclusive. Se tomó como punto de inicio el año 2000 porque antes de este año no se encuentra data confiable por ser el mercado de divisas spot un mercado relativamente nuevo en comparación con el mercado accionario por ejemplo.

Se partió el desarrollo de esta memoria con un enfoque de marco de tiempo semanal. En los registros semanales se encontraron 679 semanas. Al buscar reglas de asociación con confianzas mayores a un 60% el soporte encontrado es despreciable tanto porcentualmente como numéricamente. Debido a esto, se extendió el enfoque al marco de tiempo diario, en los cuales se registraron 3808 periodos. Las variables en ambos casos son 661.

## 3 Objetivos

---

### 3.1 General

El objetivo general de esta memoria es aplicar reglas de asociación para encontrar estrategias de trading rentables para el par EUR/USD en el marco de tiempo diario aplicadas a indicadores de análisis técnico.

### 3.2 Específicos

3.2.1 Evaluar la utilidad de distintas variables de análisis técnicos para la construcción de reglas de asociación.

Se construirán reglas de asociación para el par EURUSD en el marco de tiempo diario utilizando indicadores de análisis técnicos agrupados en 4 categorías: tendencia, momentum, volatilidad y otros indicadores. La agrupación tiene como finalidad evitar redundancia al momento de evaluar e identificar las reglas de asociación. Se profundiza en el concepto de redundancia de los indicadores en la sección 4.1.2 *Determinación de variables relevantes* del presente informe.

3.2.2 Encontrar un conjunto de reglas que tengan poder predictivo para determinar momentos de compra de EURUSD.

Se variarán los parámetros de cada indicador dentro de los rangos posibles para identificar los parámetros que resulten más rentables evaluando cada indicador por si sólo y posteriormente se mezclarán indicadores de cada categoría para identificar reglas rentables cuantificando tendencia, momentum, volatilidad, fractales y pivotes. Para evaluar el poder predictivo de las reglas encontradas, se utilizarán los conceptos de confianza, soporte y contraconfianza. Estos tres conceptos se encuentran explicados en la sección 4.2 *Reglas de asociación aplicadas a trading* del presente informe.

3.2.3 Construir un sistema automático de trading basado en la conjunción de múltiples reglas.

Una vez terminados los objetivos específicos 1 y 2, se programará un sistema automatizado de trading utilizando como condiciones de compra las mejores reglas encontradas en el punto anterior y se optimizarán los valores de take profit y stop loss utilizando algoritmos genéticos. Se realizará backtesting del sistema en un periodo de 13 años para evaluar su desempeño pasado.

Como fue mencionado en la introducción del presente informe, el sistema de trading automatizado, será un prototipo funcional. Incluirá técnicas de money management para controlar el riesgo y será utilizado sólo para evaluar el desempeño de las reglas encontradas en el pasado. No obstante lo anterior, el prototipo podrá utilizarse para realizar transacciones futuras basadas en las reglas encontradas de manera absolutamente automatizada.

3.2.4 Evaluar el desempeño del sistema automatizado de trading

Los resultados obtenidos en el sistema automatizado de trading se compararán con los resultados obtenidos con la técnica “buy and hold” y con otros sistemas automatizados basados en un solo

indicador técnico: Bollinger Bands, MACD, Parabolic SAR, Stochastic y RSI, es decir, cinco sistemas de trading automatizados basados en un solo indicador.

Las condiciones utilizadas para comprar en dichos sistemas automáticos basados en un solo indicador son las mencionadas en la sección 2.3 *Búsqueda formal de reglas que puedan generar un sistema de trading*, específicamente, en la descripción de cada indicador de análisis técnico.

## 4 Metodología

---

### 4.1 Descripción general de la metodología.

#### 4.1.1 Selección y limpieza de datos.

Se importará la data diaria del par EUR/USD desde los servidores de Metaquotes Software a Metatrader 4 desde comienzos de año 2000 hasta el término del año 2012. Una vez importados estos 13 años de data se identificarán y solucionarán incongruencias en la data, tales como días inexistentes, gaps y rangos fuera de lo común.

La data a importar será el precio de apertura, cierre, mayor y menor de cada día. Además, se importará los valores de los siguientes indicadores técnicos MACD, ADX, SMA (media móvil simple) de períodos 1 a 200 con intervalos de 1 período, EMA (media móvil exponencial) de períodos 1 a 200 con intervalos de 1 período, PSAR, RSI de períodos 2 a 30 con intervalos de 1, Estocásticos de %K 5, 8 y 14, ATR de períodos 1 a 200 con intervalos de 1, PERCENTB de 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 desviaciones estándar, BBWIDTH de 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 desviaciones estándar, FRACTAL UP, FRACTAL DOWN, pivotes R1,R2,R3,PP,S1,S2 Y S3 para cada día.

Una vez importados los datos en Metatrader se creará una base de datos MYSQL de 661 columnas para poblar los datos obtenidos. La migración de los datos desde Metatrader a MYSQL se realizará por medio de la creación de un script desarrollado en lenguaje MQL4 para evitar el error humano en la migración de la data. La base de datos resultante tiene 3808 filas para el marco de tiempo diario.

#### 4.1.2 Determinación de variables relevantes.

Para determinar las variables relevantes se tomaron los indicadores técnicos mencionados anteriormente y se clasificaron en categorías con la finalidad de no caer en redundancias que afecten el análisis [15]. Para ilustrar lo anterior, es muy común apreciar, que 2 o más indicadores den señal de compra y el precio vaya en la dirección contraria. El problema más común es que muchos traders utilizan 2 o más indicadores que se utilizan para lo mismo. A modo de ejemplo, puede ser que el ADX, MACD, medias móviles y PSAR todos den señales de compra y el precio baje. El problema es que todos los indicadores mencionados miden lo mismo: Tendencia. ¿Qué pasa con el Momentum, la Volatilidad y otros factores?

Al clasificar los indicadores en categorías acordes con su utilización y construyendo reglas sin mezclar indicadores de una misma categoría, se facilita la construcción de reglas imponiendo ciertas restricciones al espacio de búsqueda de las mismas utilizando sólo aquellas reglas que sean consistentes con la lógica del negocio. La clasificación utilizada se ilustra en el cuadro a continuación:

NOMBRE INDICADOR	CATEGORIA
ADX	TENDENCIA
MACD	TENDENCIA
SMA	TENDENCIA
EMA	TENDENCIA
PSAR	TENDENCIA
RSI	MOMENTUM
STOCHASTIC	MOMENTUM
ATR	VOLATILIDAD
BBWIDTH	VOLATILIDAD
PERCENT B	VOLATILIDAD
FRACTALS	OTROS
PIVOT POINTS	OTROS

Tabla 5: Indicadores pertenecientes a cada categoría

#### 4.1.3 Aplicación de reglas de asociación univariadas

Se buscarán reglas de asociación utilizando como atributos de decisión los parámetros de cada uno de los indicadores de la lista ilustrada en el punto anterior por separado y se evaluará el potencial de cada uno de estos indicadores y sus variaciones (distintos parámetros) identificando aquellas reglas que utilicen un sólo indicador y que tengan buenos niveles de confianza con soportes razonables. Esto nos permitirá responder al primer objetivo específico de este trabajo y adicionalmente nos facilitará la búsqueda de reglas multivariadas debido a que al filtrar las reglas de asociación univariadas de acuerdo a su soporte y confianza, se reduce el muestreo de reglas a aquellas que son confiables eliminando de la búsqueda a todas aquellas reglas que utilizando una sola variable no nos entregan resultados promisorios.

#### 4.1.4 Aplicación de reglas de asociación multivariadas

De los resultados obtenidos del análisis de las reglas de asociación univariadas se toman las más promisorios y se combinan resultados pertenecientes a indicadores técnicos de distintas categorías y se combinan entre sí teniendo cuidado de no caer en la redundancia explicada en el punto 4.1.2 *Determinación de variables relevantes*. A modo de ejemplo se combinan los mejores resultados obtenidos de ADX, RSI y BBWIDTH (tendencia, momentum y volatilidad) pero no de ADX, MACD Y RSI (tendencia, tendencia, momentum), ya que ADX y MACD se utilizan ambos para identificar tendencia lo que genera una redundancia en el análisis.

#### 4.1.5 Evaluación de la solución

Para evaluar la solución encontrada se programa un sistema automatizado de trading utilizando el lenguaje de programación mql4 y se compara su rentabilidad con otros sistemas de trading automatizado basados en un solo indicador y con la estrategia “buy and hold”. Se entiende como estrategia “buy and hold” comprar al comienzo del período y mantener la posición hasta el final del periodo. Como se mencionó anteriormente para objetos de esta memoria el horizonte de evaluación es de comienzo del año 2000 hasta fines del año 2012 (trece años).

## 4.2 Reglas de asociación aplicadas a trading.

Se tiene un sistema que en este caso es el mercado de divisas, el cual produce una secuencia de observaciones ordenadas temporalmente. Es decir, para cada periodo que se ocupe, esto es semanal, diario o incluso intradiario (i.e. 4 horas, 1 hora, 30 minutos, 5 minutos) se observan los valores de cada indicador técnico que se utiliza en la presente memoria, así como también los valores de apertura, cierre, mayor y menor para cada periodo de una divisa en particular, el EURUSD.

En esta memoria se presenta el problema de entender este sistema (mercado de divisas) que produce una secuencia de observación ordenada temporalmente. La solución planteada se basa en generar e interpretar una serie de reglas temporales de decisión [6]. Una regla temporal de decisión es una regla de decisión que puede ser usada para predecir o inferir comportamientos pasados del valor de un atributo de decisión (en este caso valores de los indicadores técnicos) usando atributos de condición que son observados en tiempos distintos que los tiempos de observación de los atributos de decisión [7]. En este caso específico, nos centramos en los valores de los indicadores técnicos en  $t$  (atributos de decisión o antecedente) y los atributos de condición o consecuente se basarán en  $t+1$  (periodo siguiente). Específicamente encontraremos las relaciones entre los valores de los indicadores técnicos (atributos de decisión o antecedente) y la variación del precio de una divisa (atributos de condición o consecuente).

La predicción del valor de un atributo de decisión es realizada a través del uso de una regla de decisión como esta: Si  $\{(ATR > 30 \text{ y } (Stoch < 20))\}$  entonces (Precio de cierre en  $t+1 > x$ ) donde ATR y Stoch son atributos de decisión (antecedente) y el Precio de cierre en  $t+1$  es el atributo de condición (consecuente). Una vez que se encuentran las reglas temporales de decisión, se cuantifica la calidad de las mismas por medio de los conceptos de soporte, confianza y contraconfianza.

Soporte se define como la frecuencia con la que aparecen los atributos de decisión (antecedente) en las observaciones del sistema. Confianza se define como la frecuencia con la que la regla completa (atributos de decisión y atributos de condición) se cumple dentro de las observaciones del sistema en los que los atributos de decisión (antecedente) se cumplen [38,39].

Por último, para controlar el riesgo de las reglas propuesta, introducimos la contraconfianza, que se define como la frecuencia con la que los atributos de decisión (antecedente) se cumplen y los atributos de condición (consecuente) no se cumplen. Es decir, contraconfianza cuantifica las veces en que los atributos de decisión se cumplen y el movimiento del precio difiere de lo que uno espera en el atributo de condición. La contraconfianza registra los escenarios negativos asociados a una regla de decisión determinada. Se explica la utilización de este concepto en el ámbito de la aplicación de esta memoria en la sección 5.4 *Evaluación y Backtesting* del presente informe.

En el ámbito de aplicación de las reglas de asociación en trading resulta indispensable incorporar el riesgo al momento de calcular las confianzas de las reglas. Si se incorpora en la confianza sólo que el precio suba una cantidad de pips determinada que será explicada en las secciones siguientes del presente informe sin considerar el riesgo, es factible que el precio antes de subir esa cantidad determinada de pips baje el doble o triple de esa cantidad, lo que dependiendo del tamaño de la posición puede generar un llamado a margen (fondos insuficientes) y como consecuencia esa transacción sea una pérdida y no una ganancia.

Debido a lo expuesto en el párrafo anterior, se trató de considerar al momento de evaluar las confianzas de las reglas un ratio riesgo retorno igual a 1. Es decir, si se busca en el atributo de decisión (consecuente) que el precio suba x pips, también se exigirá que el precio no baje más de x pips de manera de evitar un posible margin call y minimizar el drawdown de la curva de resultados.

Ratio riesgo retorno se define como la comparación entre los resultados esperados de una inversión en relación con el riesgo que se asume para capturar estos retornos esperados [25].

Margin call se define como la obligación que impone el bróker al inversionista de depositar dinero o activos adicionales a la cuenta de trading de manera de mantener el margen mínimo requerido por el cliente [27]. En forex, es común obtener apalancamientos de hasta 400 veces y dada la volatilidad del mercado de divisas, el margin call de un bróker de forex se realiza automáticamente cerrando todas las posiciones existentes en la cuenta. Básicamente, si compramos y no limitamos un escenario negativo, considerando un apalancamiento de 400 veces, podemos perder todo el capital disponible en la cuenta.

Se define drawdown como la disminución entre el punto máximo y el punto mínimo del valor de una inversión en un periodo determinado de observación [25].

Las siguientes dos figuras tienen como objetivo ilustrar los conceptos de ratio riesgo-retorno (Figura 18) y drawdown (Figura 19) explicados en el párrafo anterior.

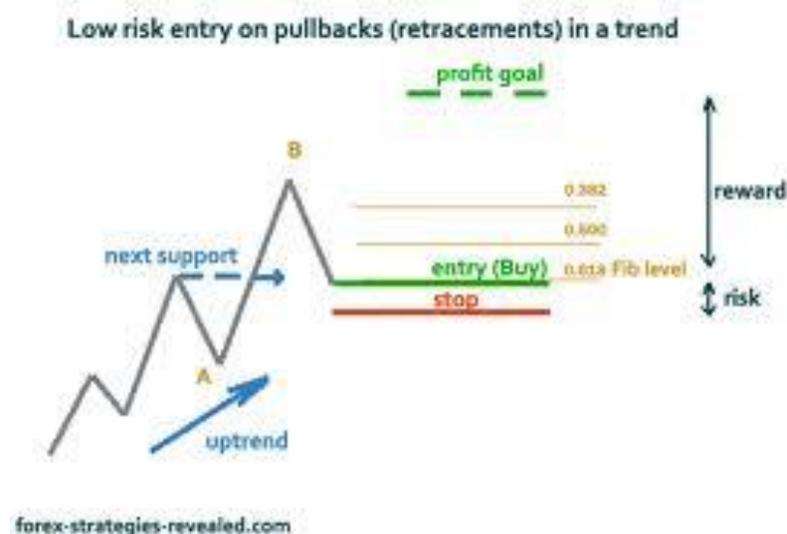


Figura 18: Ratio riesgo-retorno [37].

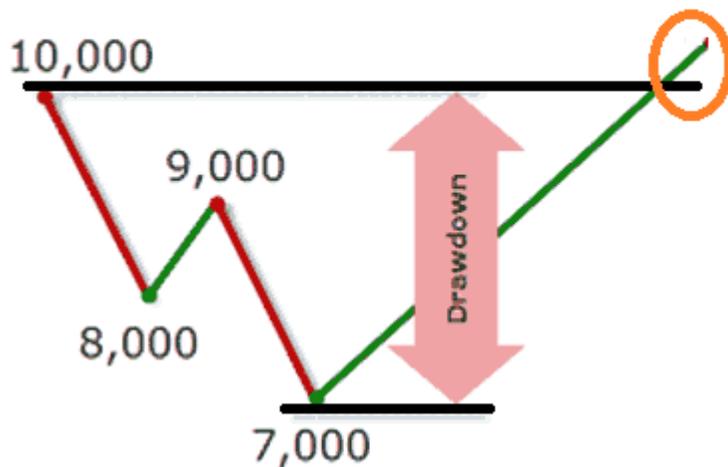


Figura 19: Drawdown [25]

Al buscar reglas considerando ratio riesgo retorno igual a 1 no se encontraron reglas con confianza aceptables (mayores que un 55%). Esto se ilustra en la Tabla 5 de la página siguiente. Debido a esto, se buscaron reglas tomando en cuenta sólo el retorno y se controlará el riesgo en los parámetros del sistema automático de trading.

#### 4.2.1 Ilustración de Incorporación de Riesgo en Identificación de Reglas

Ejemplo de un cálculo de confianza y soporte de una regla de decisión univariada limitando el ratio riesgo retorno a 1:

##### DATA SEMANAL

Atributo de decisión o antecedente: El precio de cierre es menor que el valor del Parabolic Sar (PSAR) en la semana t.

Atributo de decisión o consecuente: La semana siguiente (t+1) el (Precio máximo – Precio de Apertura)  $\geq X$  y el (Precio de Apertura - Precio mínimo)  $\leq X$

Regla completa: El precio de cierre es menor que el valor del Parabolic Sar (PSAR) en la semana t y la semana siguiente (t+1) el (Precio máximo – Precio de Apertura)  $\geq X$  y el (Precio de apertura - Precio mínimo)  $\leq X$

REGLA	CLOSE<PSAR
SOPORTE	335
CONFIANZA	102
SOPORTE %	49.34%
CONFIANZA %	30.45%

Tabla 6: Ejemplo de regla de decisión asociada al indicador Parabolic Sar en el time frame semanal

En el ejemplo anterior podemos apreciar que las veces que se cumple que “el precio de cierre es menor que el valor del Parabolic Sar (PSAR)” fueron 335 veces, lo que equivale a un 49.34% (recordemos que nuestra población son 679 semanas). Por otra parte las veces que se cumple la regla completa fueron 102 veces, lo que equivale a un 30.45% (102/335)

## DATA DIARIA

Atributo de decisión o antecedente: El precio de cierre es menor que el valor del Parabolic Sar (PSAR) en el día t.

Atributo de decisión o consecuente: El día siguiente (t+1) el (Precio máximo – Precio de Apertura)  $\geq X$  y el (Precio de apertura - Precio mínimo)  $\leq X$

Regla completa: El precio de cierre es menor que el valor del Parabolic Sar (PSAR) en el día t y el día siguiente (t+1) el (Precio máximo – Precio de Apertura)  $\geq X$  y el (Precio de apertura - Precio mínimo)  $\leq X$

REGLA	CLOSE<PSAR
SOPORTE	1768
CONFIANZA	511
SOPORTE %	46,43%
CONFIANZA %	28,90%

Tabla 7: Ejemplo de regla de decisión asociada al indicador Parabolic Sar en el time frame diario

En el ejemplo anterior podemos apreciar que las veces que se cumple que “el precio de cierre es menor que el valor del Parabolic Sar (PSAR)” fueron 1768 veces, lo que equivale a un 46.43% (recordemos que nuestra población son 3808 días). Por otra parte las veces que se cumple la regla completa fueron 511 veces, lo que equivale a un 28.90% (511/1768).

## **Veamos ahora la misma regla sin controlar el ratio riesgo retorno en el atributo de decisión (consecuente):**

Atributo de decisión o antecedente: El precio de cierre es menor que el valor del Parabolic Sar (PSAR) en el día t.

Atributo de decisión o consecuente: El día siguiente (t+1) el (Precio máximo – Precio de Apertura)  $\geq X$

Regla completa: El precio de cierre es menor que el valor del Parabolic Sar (PSAR) en el día t y el día siguiente (t+1) el (Precio máximo – Precio de Apertura)  $\geq X$

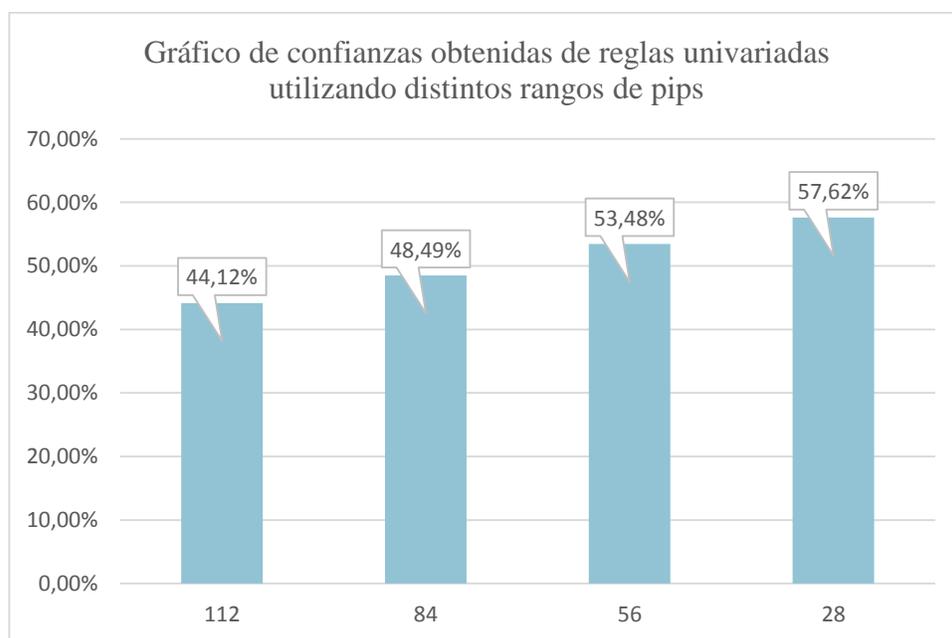
REGLA	CLOSE<PSAR
SOPORTE	1768
CONFIANZA	1032
SOPORTE %	46,43%
CONFIANZA %	58,37%

Tabla 8: Ejemplo de regla de decisión asociada al indicador Parabolic Sar en el time frame diario sin considerar en la construcción de la regla el ratio retorno igual a 1.

De la regla anterior, se infieren algunas condiciones que son particulares a este caso en términos de la creación de las reglas de asociación.

En primer lugar, la distancia que le pedimos al precio (X). Necesitamos que el precio se mueva 10 pips, 20 pips, 300 pips? Cada transacción en el mercado implica un riesgo. Incluso si utilizamos ratio riesgo-retorno =1 si compramos para buscar ganar un número de pips muy pequeño puede ser que no se justifique entrar al mercado. En caso contrario, si compramos para buscar ganar un número de pips muy alto puede ser que nuestro precio objetivo (target) jamás se cumpla y la operación termine en una pérdida. Para solucionar este problema calculamos nuestro promedio de movimiento diario del par EUR/USD.

Se obtiene que el promedio de movimiento del par EUR/USD es de 112 pips en un día. Adicionalmente, 1643 días el movimiento estuvo sobre el promedio (43%) y 2165 días el movimiento estuvo bajo el promedio (57%). Este es el campo de acción. Sin embargo, al calcular los soportes y las confianzas se observa que no se obtienen confianzas aceptables en reglas de asociación univariadas utilizando el 50% del campo de acción (56 pips), por lo que se prueba con el 30% (34 pips) y se observa una mejor confianza utilizando el 25% del campo de acción (28 pips) como se ilustra en el gráfico a continuación.



La literatura muestra que es muy difícil batir sistemáticamente a los mercados financieros, por lo que en este caso se estará dispuesto a aceptar reglas con poco soporte pero alta confianza. Adicionalmente, al pasar de análisis univariado a multivariado, como estamos exigiendo mayor cantidad de condiciones, la cantidad de veces que se cumple el conjunto de condiciones va disminuyendo, por lo que el soporte ya no es tan crítico como lo es la confianza de las reglas de asociación. Por otra parte, para aumentar la probabilidad de generar reglas rentables, las reglas de asociación se combinarán en un sistema integrado en el que pueden evaluarse muchas reglas.

## 5 Resultados

---

### 5.1 Selección y pre-procesamiento de los datos

Se utilizaron los siguientes indicadores de análisis técnicos clasificados de acuerdo a la siguiente lista:

#### INDICADORES DE TENDENCIA

- ADX (14)
- MACD (12,26,9)
- EMA (entre 1 y 200 períodos con intervalos de 1)
- SMA (entre 1 y 200 períodos con intervalos de 1)
- PARABOLIC SAR (PSAR) (0.02,0.2)

#### INDICADORES DE MOMENTUM

- RSI (entre 2 y 30 períodos con intervalos de 1)
- STOCHASTIC (%K 5,8,14)

#### INDICADORES DE VOLATILIDAD

- ATR (entre 1 y 200 períodos con intervalos de 1)
- PERCENTB (1, 1.5, 2, 2.5 y 3 desviaciones estándar)
- BBWIDTH (1, 1.5, 2, 2.5 y 3 desviaciones estándar)

#### OTROS

- FRACTALES (si existe fractal up o fractal down en determinado período)
- PIVOT POINTS: R3,R2,R1,PP,S1,S2,S3

En la sección 2.3 *Búsqueda formal de reglas que puedan generar un sistema de trading* del presente informe se explicaron todos los indicadores utilizados, incluyendo sus parámetros por defecto y en una consulta inicial de la base de datos se obtuvo el rango de valores que asume cada indicador.

De acuerdo a las consultas iniciales de la base de datos se consideran los siguientes rangos de valores para cada uno de los indicadores:

#### INDICADORES DE TENDENCIA

- ADX (entre 5 y 70 con intervalos de 5)
- MACD (entre -0.027 y 0.027 con intervalos de 0.001)
- EMA (se compara en relación con el precio de cierre)
- SMA (se compara en relación con el precio de cierre)

- PARABOLIC SAR (PSAR) (se compara en relación con el precio de cierre)

#### INDICADORES DE MOMENTUM

- RSI (entre 0 y 100 con intervalos de 10)
- STOCHASTIC (entre 0 y 100 con intervalos de 10)

#### INDICADORES DE VOLATILIDAD

- ATR (se comprara en relación con el (HIGH-LOW) o rango del periodo)
- PERCENTB (<0; 0 y 0.20; 0.20 y 0.50; 0.50 y 0.80; 0.80 y 1; >1)
- BBWIDTH (distintos valores dependiendo si son 1, 2 o 3 desviaciones estándar)

#### BBWIDTH1

VALUE	0.0045 Y 0.0147	0.0147 Y 0.0204	0.0204 Y 0.0306	0.0306 Y 0.0898
-------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

#### BBWIDTH2

VALUE	0.0091 Y 0.0295	0.0295 Y 0.0408	0.0408 Y 0.0612	0.0612 Y 0.1796
-------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

#### BBWIDTH3

VALUE	0.0136 Y 0.0441	0.0441 Y 0.061	0.061 Y 0.0915	0.0915 Y 0.2694
-------	-----------------	----------------	----------------	-----------------

*IMPORTANTE:* Debido a la fórmula de los indicadores PERCENTB y BBWIDTH no aceptan decimales como input. Debido a esto se eliminan los valores 1.5 y 2.5 desviaciones estándar.

#### OTROS INDICADORES

- FRACTALES (valor del pivote o nulo)

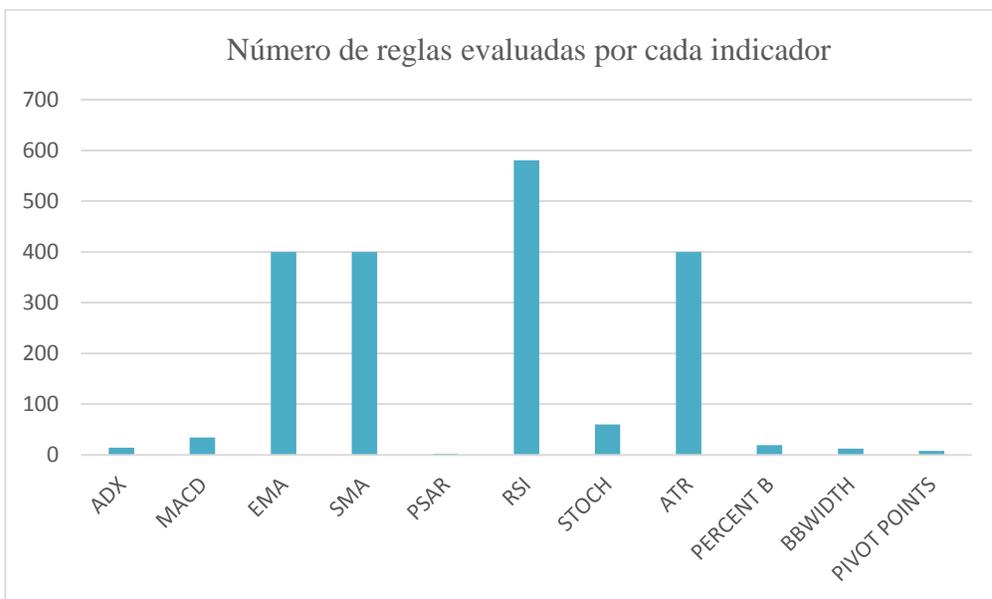
*IMPORTANTE:* Para que se forme un fractal se requieren 3 períodos, por lo que no se sabe con anticipación si un mínimo o un máximo de un periodo en particular se va a convertir en fractal, razón por la cual se elimina este elemento del análisis.

- PIVOT POINTS: (<=S3, S3 Y S2 ,S2 Y S1, S1 Y PP, PP Y R1 R1 Y R2, R2 Y R3, >=R3)

Como conclusión, en la selección y el pre-procesamiento de los datos se obtuvo el rango en los cuales se mueven los indicadores, se eliminaron dos valores de los indicadores PERCENTB y BBWIDTH del análisis y se descartó el uso de los fractales (fractals) como indicador.

## 5.2 Análisis Univariado

En el análisis univariado se evaluaron 1929 reglas, con un soporte promedio de un 49.27% y con una confianza promedio de un 57.62%. El gráfico de a continuación muestra el número de reglas evaluadas por cada indicador utilizado:



A continuación se detallan los **mejores** resultados obtenidos utilizando reglas de asociación con una variable. La regla se construye buscando una utilidad de al menos un 25% del rango promedio (28 pips) y es necesario recordar que para efectos de alcance de esta memoria se buscarán reglas sólo de compra.

MACD	SOPORTE	CONFIANZA	SOPORTE %	CONFIANZA %
-0,012	2	2	0,05%	100,00%
-0,01	13	10	0,34%	76,92%
0,011	11	8	0,29%	72,73%
-0,008	40	29	1,05%	72,50%
-0,009	24	17	0,63%	70,83%
0,005	141	99	3,70%	70,21%
-0,011	10	7	0,26%	70,00%
0,012	10	7	0,26%	70,00%
0,008	29	20	0,76%	68,97%
-0,007	59	40	1,55%	67,80%
-0,005	167	112	4,39%	67,07%
0,01	15	10	0,39%	66,67%
-0,004	316	208	8,30%	65,82%
0,006	78	51	2,05%	65,38%
0,009	20	13	0,53%	65,00%
-0,006	94	61	2,47%	64,89%
0,004	253	160	6,64%	63,24%

Tabla 9: Mejores reglas de asociación asociadas al MACD

ADX	SOPORTE	CONFIANZA	SOPORTE %	CONFIANZA %
70	16	10	0.42%	62.50%
35	1026	614	26.94%	59.84%
30	1529	914	40.15%	59.78%
40	689	408	18.09%	59.22%
45	462	272	12.13%	58.87%
25	2285	1342	60.01%	58.73%
20	3056	1785	80.25%	58.41%
15	3666	2115	96.27%	57.69%
5	3808	2193	100.00%	57.59%
10	3808	2193	100.00%	57.59%
50	270	155	7.09%	57.41%
55	175	96	4.60%	54.86%
65	39	21	1.02%	53.85%

Tabla 10: Mejores reglas de asociación asociadas al ADX

Tanto para medias móviles simples (SMA) como para medias móviles exponenciales (EMA) se consideraron combinaciones de 2, 3, 4 y 5 medias móviles. Para saber cuáles medias móviles utilizamos en cada caso se dividió las 200 medias móviles en 2, 3, 4 y 5 segmentos y se eligieron las que tienen mayor confianza en cada segmento. El mismo procedimiento se utilizó tanto como para medias móviles simples como para medias móviles exponenciales. Las medias móviles resultantes para cada combinación se muestran a continuación:

2 SMA	93 Y 138
3 SMA	66, 93 Y 138
4 SMA	8,93,138 Y 154
5 SMA	8, 66, 93, 138 Y 161

Tabla 11: Combinaciones de SMA

2 EMA	91 Y 101
3 EMA	66, 91 Y 155
4 EMA	50,91,101 Y 155
5 EMA	6,73,91,127,161

Tabla 12: Combinaciones de EMA

REGLA	SOPORTE	CONFIANZA	SOPORTE %	CONFIANZA %
CLOSE<PSAR	1768	469	46.43%	26.53%
CLOSE>PSAR	2040	685	53.57%	33.58%

Tabla 13: PSAR

Dado que ni el soporte ni las confianzas de las reglas de asociación de compras y ventas del PSAR son representativas se elimina este indicador del análisis.

Referente al RSI tenemos los siguientes resultados.

RSI2<I				
	SOPORTE	CONFIANZA	SOPORTE %	CONFIANZA %
30	478	292	12.55%	61.09%
20	851	513	22.35%	60.28%
40	1500	899	39.39%	59.93%
50	1830	1088	48.06%	59.45%
10	1208	717	31.72%	59.35%
70	2438	1443	64.02%	59.19%
60	2114	1248	55.51%	59.04%
80	2800	1643	73.53%	58.68%
90	3234	1884	84.93%	58.26%
100	3808	2193	100.00%	57.59%
0	0	0	0.00%	

Tabla 14: RS2 <I

RSI6<I				
	SOPORTE	CONFIANZA	SOPORTE %	CONFIANZA %
10	13	10	0.34%	76.92%
20	164	109	4.31%	66.46%
30	1109	679	29.12%	61.23%
40	544	329	14.29%	60.48%
50	1789	1057	46.98%	59.08%
60	2447	1437	64.26%	58.72%
70	3055	1780	80.23%	58.27%
80	3549	2055	93.20%	57.90%
90	3763	2169	98.82%	57.64%
100	3808	2193	100.00%	57.59%

Tabla 15: RSI6>I

RSI9<I				
	SOPORTE	CONFIANZA	SOPORTE %	CONFIANZA %
20	52	35	1.37%	67.31%
10	6	4	0.16%	66.67%
40	323	202	8.48%	62.54%
30	947	583	24.87%	61.56%
50	1786	1054	46.90%	59.01%
60	2614	1526	68.64%	58.38%
70	3292	1912	86.45%	58.08%
80	3683	2127	96.72%	57.75%
90	3804	2191	99.89%	57.60%
100	3808	2193	100.00%	57.59%
0	0	0	0.00%	

Tabla 16: RSI9<I

STOCH 5<I				
	SOPORTE	CONFIANZA	SOPORTE %	CONFIANZA %
30	18	14	0.47%	77.78%
20	390	248	10.24%	63.59%
50	1712	1016	44.96%	59.35%
60	3138	1813	82.41%	57.78%
70	3761	2171	98.77%	57.72%
80	3808	2193	100.00%	57.59%
90	3808	2193	100.00%	57.59%
100	3808	2193	100.00%	57.59%

Tabla 17: STOCH5<I

En relación al ATR (Average True Range) que predice el movimiento que debería tener un activo en un período se demostró que variando los períodos de 1 a 200 la condición (HIGH-LOW) <

ATR(i) con i entre 1 y 200 jamás tiene una confianza superior al 57% y lo más importante, es que variando los valores de i jamás aumenta la confianza en más de un 1%, por lo que se eliminó este indicador para futuros análisis. En consecuencia, como resultado del análisis univariado se han eliminado del análisis los indicadores ATR y PSAR.

En esta sección se han ilustrado sólo algunos de los resultados obtenidos del análisis univariado, ya que resulta imposible mostrar en una sola tabla los resultados obtenidos al evaluar 1929 reglas de asociación.

### 5.3 Análisis Multivariado

En las secciones 5.1. *Selección y pre-procesamiento de los datos* y 5.2 *Análisis Univariado* del presente informe se eliminaron algunos indicadores quedando un total de 1527 reglas utilizando una variable:

INDICADOR	NÚMERO DE REGLAS	CATEGORÍA
ADX	14	TENDENCIA
MACD	34	TENDENCIA
EMA	400	TENDENCIA
SMA	400	TENDENCIA
RSI	580	MOMENTUM
STOCH	60	MOMENTUM
PERCENT B	19	VOLATILIDAD
BBWIDTH	12	VOLATILIDAD
PIVOT POINTS	8	OTROS
	1527	

Tabla 18: Número total de reglas por indicador

En el análisis multivariado se combinan los indicadores pertenecientes a cada categoría, con lo que aumenta considerablemente el número de combinaciones posibles de reglas. Los indicadores fueron clasificados en 4 categorías y el número de reglas por categoría es el siguiente:

CATEGORIA	NUMERO DE REGLAS
TENDENCIA	848
MOMENTUM	640
VOLATILIDAD	31
OTROS	8
	1527

Tabla 19: Número total de reglas por categoría

Al tener cuatro categorías, tenemos 6 posibles combinaciones de indicadores que pertenezcan a 2 categorías, 4 posibles combinaciones de indicadores que pertenezcan a 3 categorías y 1 única combinación posible de indicadores que pertenezcan a 4 categorías.

Para el caso de las combinaciones de indicadores que pertenezcan a 2 categorías tenemos las siguientes combinaciones:

COMBINACIÓN		NÚMERO DE REGLAS
TENDENCIA	MOMENTUM	542720
TENDENCIA	VOLATILIDAD	26288
TENDENCIA	OTROS	6784
MOMENTUM	VOLATILIDAD	19840
MOMENTUM	OTROS	5120
VOLATILIDAD	OTROS	248
		601000

Tabla 20: Combinaciones de reglas utilizando 2 categorías

Continuando con el análisis, si utilizamos las 4 combinaciones posibles de indicadores pertenecientes a 3 categorías tenemos lo siguiente:

COMBINACIÓN			NÚMERO DE REGLAS
TENDENCIA	MOMENTUM	VOLATILIDAD	16.824.320
TENDENCIA	MOMENTUM	OTROS	4.341.760
TENDENCIA	VOLATILIDAD	OTROS	210.304
MOMENTUM	VOLATILIDAD	OTROS	158.720
			21.535.104

Tabla 21: Combinaciones de reglas utilizando 2 categorías

Finalmente, si analizamos la única combinación posible de indicadores pertenecientes a 4 categorías obtenemos  $848*640*31*8$ : 134.595.560 reglas.

Para hacer frente a este problema es que se eligieron las mejores reglas obtenidas en el análisis univariado y con esto se disminuyó considerablemente el número de reglas utilizadas en el análisis multivariado, llegando a evaluar 251.550 reglas utilizando más de una variable.

En la tabla 22 a continuación se detallan los **mejores** resultados obtenidos utilizando reglas de asociación mezclando indicadores de distinta categoría pero evitando redundancias (más de un indicador por categoría). La regla se construye buscando una utilidad de al menos un 25% del rango promedio (28pips) y se controlará el riesgo en los parámetros del sistema automático de trading y principalmente utilizando el concepto de contraconfianza como se detalla en la sección 5.4 *Evaluación y Backtesting* del presente informe. Para efectos de esta memoria sólo se consideran reglas de compra.

NÚMERO	CATEGORIZACIÓN	SOPORTE	CONFIANZA	%SOPORTE	%CONFIANZA
1	TENDENCIA Y MOMENTUM	263	170	6,91%	64,64%
2	TENDENCIA Y MOMENTUM	214	141	5,62%	65,89%
3	TENDENCIA Y MOMENTUM	138	93	3,62%	67,39%
4	TENDENCIA Y MOMENTUM	114	77	2,99%	67,54%
5	TENDENCIA Y MOMENTUM	83	60	2,18%	72,29%
6	TENDENCIA Y MOMENTUM	75	54	1,97%	72,00%
7	TENDENCIA Y MOMENTUM	42	29	1,10%	69,05%
8	TENDENCIA Y MOMENTUM	42	29	1,10%	69,05%
9	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	389	253	10,22%	65,04%
10	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	263	173	6,91%	65,78%
11	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	364	235	9,56%	64,56%
12	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	167	113	4,39%	67,66%
13	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	104	73	2,73%	70,19%
14	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	46	31	1,21%	67,39%
15	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	131	90	3,44%	68,70%
16	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	107	75	2,81%	70,09%
17	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	71	55	1,86%	77,46%
18	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	53	41	1,39%	77,36%
19	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	29	22	0,76%	75,86%
20	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	151	98	3,97%	64,90%
21	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	118	81	3,10%	68,64%
22	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	105	73	2,76%	69,52%
23	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	121	80	3,18%	66,12%
24	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	97	66	2,55%	68,04%
25	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	90	63	2,36%	70,00%
26	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	80	55	2,10%	68,75%
27	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	65	48	1,71%	73,85%
28	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	62	47	1,63%	75,81%
29	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	58	39	1,52%	67,24%
30	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	48	36	1,26%	75,00%
31	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	45	34	1,18%	75,56%
32	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	29	21	0,76%	72,41%
33	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	27	20	0,71%	74,07%
34	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	253	164	6,64%	64,82%
35	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	206	136	5,41%	66,02%
36	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	114	77	2,99%	67,54%
37	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	130	90	3,41%	69,23%
38	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	109	74	2,86%	67,89%

39	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	66	47	1,73%	71,21%
40	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	82	60	2,15%	73,17%
41	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	75	54	1,97%	72,00%
42	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	30	20	0,79%	66,67%
43	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	41	29	1,08%	70,73%
44	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	42	29	1,10%	69,05%
45	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	97	66	2,55%	68,04%
46	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	110	77	2,89%	70,00%
47	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	97	69	2,55%	71,13%
48	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	77	52	2,02%	67,53%
49	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	92	64	2,42%	69,57%
50	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	84	60	2,21%	71,43%
51	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	47	37	1,23%	78,72%
52	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	61	47	1,60%	77,05%
53	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	58	45	1,52%	77,59%
54	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	33	26	0,87%	78,79%
55	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	47	36	1,23%	76,60%
56	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	45	34	1,18%	75,56%
57	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	19	14	0,50%	73,68%
58	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	28	21	0,74%	75,00%
59	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	27	20	0,71%	74,07%
60	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	99	67	2,60%	67,68%
61	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	80	55	2,10%	68,75%
62	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	49	36	1,29%	73,47%
63	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	37	25	0,97%	67,57%
64	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	230	150	6,04%	65,22%
65	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	101	68	2,65%	67,33%
66	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	66	46	1,73%	69,70%
67	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	34	23	0,89%	67,65%
68	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	85	62	2,23%	72,94%
69	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	70	51	1,84%	72,86%
70	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	43	35	1,13%	81,40%
71	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	32	25	0,84%	78,13%
72	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	22	16	0,58%	72,73%
73	TENDENCIA Y MOMENTUM	192	125	5,04%	65,10%
74	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	126	85	3,31%	67,46%
75	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	97	70	2,55%	72,16%
76	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	76	54	2,00%	71,05%
77	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	89	63	2,34%	70,79%
78	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	82	60	2,15%	73,17%
79	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	292	189	7,67%	64,73%
80	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	190	124	4,99%	65,26%
81	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	73	53	1,92%	72,60%
82	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	88	63	2,31%	71,59%
83	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	80	59	2,10%	73,75%

84	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	76	55	2,00%	72,37%
85	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	70	52	1,84%	74,29%
86	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	53	36	1,39%	67,92%
87	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	18	12	0,47%	66,67%
88	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	46	32	1,21%	69,57%
89	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	12	8	0,32%	66,67%
90	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	10	7	0,26%	70,00%
91	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	23	16	0,60%	69,57%
92	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	22	15	0,58%	68,18%
93	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	5	4	0,13%	80,00%
94	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	4	3	0,11%	75,00%
95	TENDENCIA Y MOMENTUM	3	2	0,08%	66,67%
96	TENDENCIA Y MOMENTUM	9	6	0,24%	66,67%
97	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	3	2	0,08%	66,67%
98	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	17	11	0,45%	64,71%

Tabla 22: Mejores resultados análisis multivariado

#### 5.4 Evaluación y Backtesting

Con las reglas encontradas en el time frame daily se procede a programar un sistema automatizado de trading en la plataforma MT4 (Metatrader 4) que entre al mercado cuando cualquiera de las condiciones encontradas en el análisis multivariado se cumpla. De ahora en adelante, llamaremos a este sistema automatizado de trading expert advisor.

Luego de realizar el análisis univariado y multivariado, se llegó a una lista de 98 reglas filtradas por un nivel de confianza que parte de un 64%, con las cuales se procede a programar el expert advisor.

La lista de las reglas encontradas con su correspondiente soporte y confianza fue presentada en el punto 5.3 *Análisis Multivariado* del presente informe.

El listado de las evaluaciones realizadas es el siguiente:

1. Realizar una iteración en el expert advisor utilizando las 98 reglas con un take profit de 28 pips y un stop loss de 28 pips de manera de mantener un ratio riesgo retorno de 1.
2. Filtrar las reglas exigiendo un nivel de confianza mínimo de un 70% manteniendo un take profit y un stop loss de 28 pips (ratio riesgo retorno igual a 1).
3. Filtrar las reglas exigiendo un nivel de confianza mínimo de un 75% manteniendo un take profit y un stop loss de 28 pips (ratio riesgo retorno igual a 1).
4. Realizar una iteración en el expert advisor utilizando confianzas de 64%, 70% y 75% aumentando el ratio riesgo retorno a 2.
5. Realizar una iteración en el expert advisor utilizando confianzas de 64%, 70% y 75% aumentando el ratio riesgo retorno a 3.
6. Se realiza una iteración introduciendo el concepto de contraconfianza. En términos prácticos se evalúa cuantas veces el drawdown (OPEN-LOW) es mayor que 28 pips. La contraconfianza de cada una de las 98 reglas se muestra en la tabla 23.
7. Filtrar las reglas exigiendo un nivel de contraconfianza menor que 60%. Las contraconfianza de cada una de las 98 reglas se muestra en la tabla 23.

8. Realizar una iteración modificando el stop loss por 31 pips en vez de 28, ya que al cerrar posiciones largas lo hacemos en el bid, por lo que hay que considerar el spread. Al realizar una transacción tenemos dos puntas, la punta de demanda y la punta de oferta (bid y ask). Al comprar, se compra en la punta de oferta (ask) que es el mejor precio disponible para comprar y al cerrar una posición de compra debemos vender la posición. El mejor precio disponible para vender es la punta de demanda (bid). El spread típico del par EURUSD es de 3 pips, por lo que si queremos que el stop loss sea de 28 pips debemos sumar a este número el spread.
9. Utilizar algoritmos genéticos para optimizar el take profit y stop loss utilizando la misma plataforma mt4. Los algoritmos genéticos se inspiran en la evolución biológica y su base genético-molecular. Estos algoritmos hacen evolucionar una población de individuos sometiéndola a acciones aleatorias semejantes a las que actúan en la evolución biológica (mutaciones y recombinaciones genéticas), así como también a una selección de acuerdo con algún criterio, en función del cual se decide cuáles son los individuos más adaptados, que sobreviven, y cuáles los menos aptos, que son descartados. Los parámetros de la optimización son TP Y SL partiendo en 20 y terminando en 60 con intervalos de 5. Se observa de los resultados que los óptimos locales para el TAKE PROFIT (TP) y STOP LOSS (SL) son 56 y 28 respectivamente.
10. Realizar una iteración incorporando los resultados obtenidos en la optimización modificando los parámetros del expert advisor de modo de mantener un ratio riesgo retorno cercano a 2. Esto es TP =56 y SL=31. Se mantiene el uso de aquellas reglas con contraconfianza menor a 50%.
11. Realizar una iteración cambiando el tamaño de lote del expert advisor de manera de arriesgar un 1.5% del patrimonio por transacción.

Adicionalmente a las 11 evaluaciones recientemente enumeradas, se obtuvieron los resultados por separado de cada una de las 98 reglas, se ordenaron de más a menos rentables debido a que mt4 realiza una transacción basada en la primera condición que se cumple, se realizaron iteraciones utilizando reglas agrupadas en distintos niveles de contraconfianza y se modificó el ratio riesgo retorno a valores intermedios entre 1 y 3. Sin embargo, los resultados no lograron superar al mejor resultado obtenido de la lista anterior.

REGLA	CATEGORIZACIÓN	%CONTRACONFIANZA
1	TENDENCIA Y MOMENTUM	57,03%
2	TENDENCIA Y MOMENTUM	54,21%
3	TENDENCIA Y MOMENTUM	60,14%
4	TENDENCIA Y MOMENTUM	60,53%
5	TENDENCIA Y MOMENTUM	68,67%
6	TENDENCIA Y MOMENTUM	66,67%
7	TENDENCIA Y MOMENTUM	73,81%
8	TENDENCIA Y MOMENTUM	73,81%
9	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	62,21%
10	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	63,88%
11	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	54,40%
12	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	59,88%
13	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	67,31%
14	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	69,57%

15	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	62,60%
16	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	63,55%
17	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	66,20%
18	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	67,92%
19	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	72,41%
20	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	60,93%
21	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	62,71%
22	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	61,90%
23	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	62,81%
24	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	62,89%
25	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	62,22%
26	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	67,50%
27	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	66,15%
28	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	64,52%
29	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	65,52%
30	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	66,67%
31	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	66,67%
32	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	72,41%
33	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	74,07%
34	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	57,71%
35	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	54,85%
36	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	61,40%
37	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	60,00%
38	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	61,47%
39	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	72,73%
40	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	68,29%
41	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	66,67%
42	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	76,67%
43	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	73,17%
44	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	73,81%
45	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	62,89%
46	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	62,73%
47	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	62,89%
48	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	63,64%
49	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	63,04%
50	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	63,10%
51	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	68,09%
52	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	65,57%
53	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	65,52%
54	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	69,70%
55	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	65,96%
56	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	66,67%
57	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	73,68%
58	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	71,43%

59	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	74,07%
60	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	62,63%
61	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	62,50%
62	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	67,35%
63	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	67,57%
64	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	55,22%
65	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	64,36%
66	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	71,21%
67	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	76,47%
68	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	63,53%
69	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	65,71%
70	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	69,77%
71	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	71,88%
72	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	77,27%
73	TENDENCIA Y MOMENTUM	59,38%
74	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	64,29%
75	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	64,95%
76	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	64,47%
77	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	66,29%
78	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	64,63%
79	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	56,85%
80	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	59,47%
81	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	65,75%
82	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	65,91%
83	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	65,00%
84	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	63,16%
85	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	65,71%
86	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	47,17%
87	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	33,33%
88	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	47,83%
89	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	41,67%
90	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	40,00%
91	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	39,13%
92	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	36,36%
93	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	40,00%
94	TENDENCIA, MOMENTUM Y VOLATILIDAD	25,00%
95	TENDENCIA Y MOMENTUM	33,33%
96	TENDENCIA Y MOMENTUM	44,44%
97	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	33,33%
98	TENDENCIA Y VOLATILIDAD	35,29%

Tabla 23: Contraconfianza de las 98 reglas

La siguiente tabla muestra los resultados más relevantes de las 11 evaluaciones realizadas. Cada iteración del expert advisor se realizó con un patrimonio inicial de USD 20.000.

ITEM	NÚMERO DE EVALUACIÓN						
	1	2	3	7	8	10	11
TOTAL NET PROFIT	-USD 18.864,48	-USD 4.720,15	-USD 2.664,55	USD 330,70	USD 360,79	USD 802,46	USD 10.815,08
MAX DRAWDOWN	94,81%	27,23%	15,10%	3,86%	3,53%	3,44%	28,60%
PROFIT TRADES	46,36%	47,53%	46,96%	50,88%	53,51%	38,29%	38,29%
LOSS TRADES	53,64%	52,47%	53,04%	49,12%	46,49%	61,71%	61,71%
MAX CONSECUTIVE WINS	11	8	8	7	7	5	5
MAX CONSECUTIVE LOSS	13	11	13	6	6	12	12

Tabla 24: Resultados más relevantes de las 11 evaluaciones realizadas

De evaluación más exitosa que es la número 11 se observa que en 341 transacciones se obtuvo una rentabilidad de un 54% y un drawdown de un 29% lo que está al límite de lo aceptable en términos de riesgo de ruina [25] [27].

A continuación se presentan los reportes con todas las estadísticas relevantes de las evaluaciones mencionadas en la tabla 18.

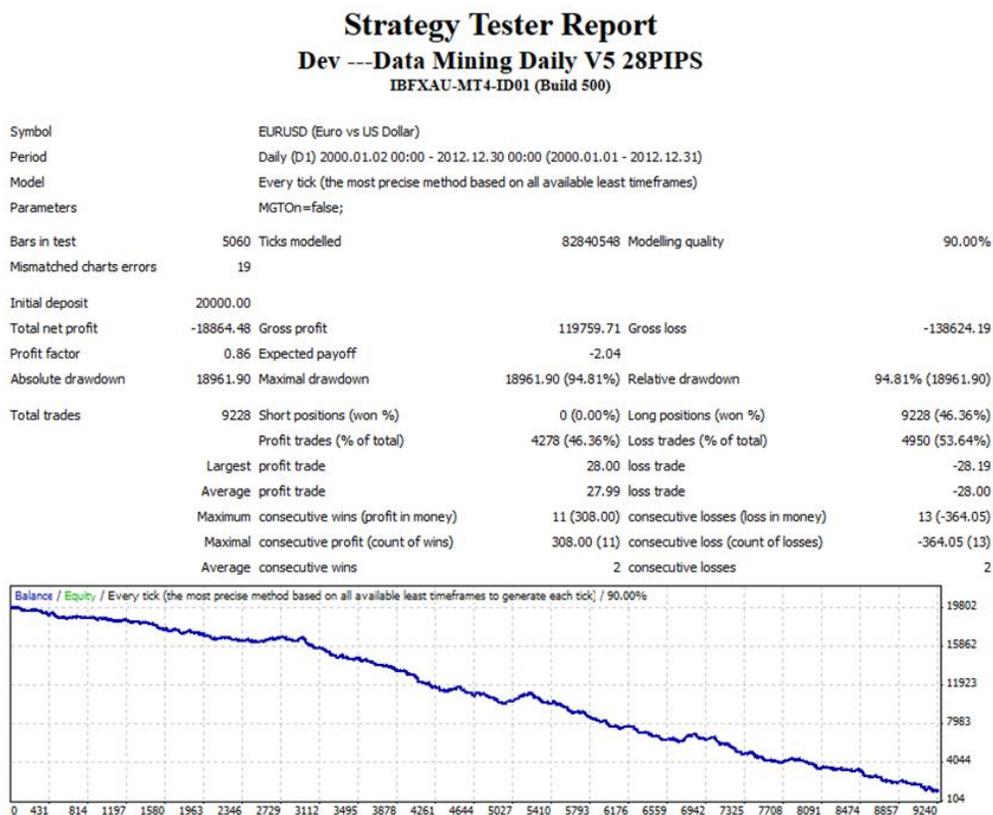


Figura 20: Reporte evaluación 1

## Strategy Tester Report

### Dev ---Data Mining Daily V5 28PIPS 70%

IBFXAU-MT4-ID01 (Build 500)

Symbol	EURUSD (Euro vs US Dollar)		
Period	Daily (D1) 2000.01.02 00:00 - 2012.12.30 00:00 (2000.01.01 - 2012.12.31)		
Model	Every tick (the most precise method based on all available least timeframes)		
Parameters	MGTON=false;		
Bars in test	5060 Ticks modelled	82840548 Modelling quality	90.00%
Mismatched charts errors	19		
Initial deposit	20000.00		
Total net profit	-4720.15 Gross profit	45155.71 Gross loss	-49875.86
Profit factor	0.91 Expected payoff	-1.39	
Absolute drawdown	4899.62 Maximal drawdown	5650.56 (27.23%) Relative drawdown	27.23% (5650.56)
Total trades	3394 Short positions (won %)	0 (0.00%) Long positions (won %)	3394 (47.53%)
	Profit trades (% of total)	1613 (47.53%) Loss trades (% of total)	1781 (52.47%)
	Largest profit trade	28.00 loss trade	-28.14
	Average profit trade	27.99 loss trade	-28.00
	Maximum consecutive wins (profit in money)	8 (224.00) consecutive losses (loss in money)	11 (-308.05)
	Maximal consecutive profit (count of wins)	224.00 (8) consecutive loss (count of losses)	-308.05 (11)
	Average consecutive wins	2 consecutive losses	2

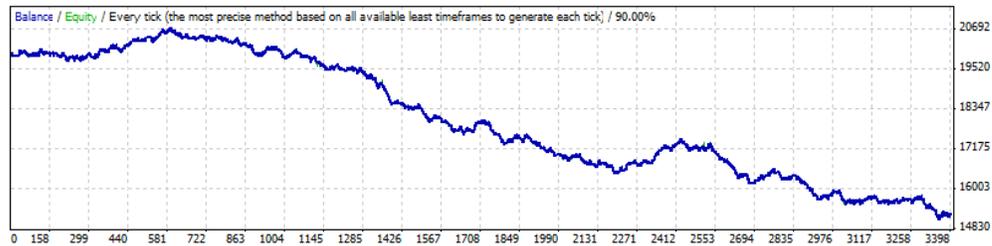


Figura 21: Reporte evaluación 2

## Strategy Tester Report

### Dev ---Data Mining Daily V5 28PIPS 75%

IBFXAU-MT4-ID01 (Build 500)

Symbol	EURUSD (Euro vs US Dollar)		
Period	Daily (D1) 2000.01.02 00:00 - 2012.12.30 00:00 (2000.01.01 - 2012.12.31)		
Model	Every tick (the most precise method based on all available least timeframes)		
Parameters	MGTON=false;		
Bars in test	5060 Ticks modelled	82840548 Modelling quality	90.00%
Mismatched charts errors	19		
Initial deposit	20000.00		
Total net profit	-2664.55 Gross profit	20549.54 Gross loss	-23214.08
Profit factor	0.89 Expected payoff	-1.70	
Absolute drawdown	2884.99 Maximal drawdown	3043.34 (15.10%) Relative drawdown	15.10% (3043.34)
Total trades	1563 Short positions (won %)	0 (0.00%) Long positions (won %)	1563 (46.96%)
	Profit trades (% of total)	734 (46.96%) Loss trades (% of total)	829 (53.04%)
	Largest profit trade	28.00 loss trade	-28.14
	Average profit trade	28.00 loss trade	-28.00
	Maximum consecutive wins (profit in money)	8 (224.00) consecutive losses (loss in money)	13 (-364.05)
	Maximal consecutive profit (count of wins)	224.00 (8) consecutive loss (count of losses)	-364.05 (13)
	Average consecutive wins	2 consecutive losses	2

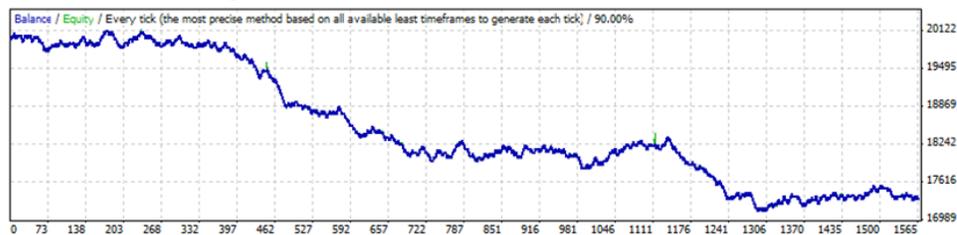


Figura 22: Reporte evaluación 3

## Strategy Tester Report

### Dev ---Data Mining Daily V5 28PIPS MENORCF IBFXAU-MT4-ID01 (Build 500)

Symbol	EURUSD (Euro vs US Dollar)			
Period	Daily (D1) 2000.01.02 00:00 - 2012.12.30 00:00 (2000.01.01 - 2012.12.31)			
Model	Every tick (the most precise method based on all available least timeframes)			
Parameters	MGTON=false;			
Bars in test	5060	Ticks modelled	82840281	Modelling quality 90.00%
Mismatched charts errors	18			
Initial deposit	20000.00			
Total net profit	330.70	Gross profit	9656.88	Gross loss -9326.18
Profit factor	1.04	Expected payoff	0.49	
Absolute drawdown	397.56	Maximal drawdown	787.09 (3.86%)	Relative drawdown 3.86% (787.09)
Total trades	678	Short positions (won %)	0 (0.00%)	Long positions (won %) 678 (50.88%)
		Profit trades (% of total)	345 (50.88%)	Loss trades (% of total) 333 (49.12%)
		Largest profit trade	28.00	loss trade -28.14
		Average profit trade	27.99	loss trade -28.01
		Maximum consecutive wins (profit in money)	7 (196.00)	consecutive losses (loss in money) 6 (-168.00)
		Maximal consecutive profit (count of wins)	196.00 (7)	consecutive loss (count of losses) -168.00 (6)
		Average consecutive wins	2	consecutive losses 2

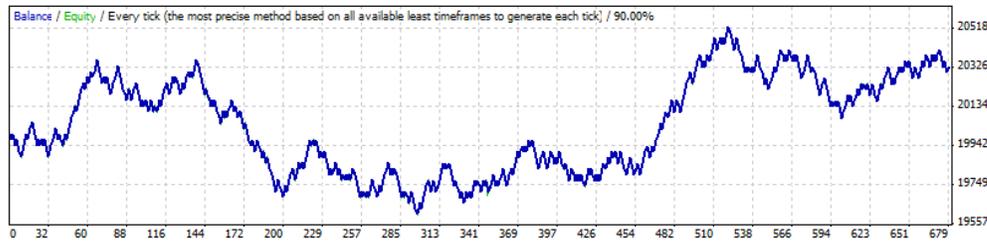


Figura 23: Reporte evaluación 7

## Strategy Tester Report

### Dev ---Data Mining Daily V5 28PIPS MENORCF SL31 IBFXAU-MT4-ID01 (Build 500)

Symbol	EURUSD (Euro vs US Dollar)			
Period	Daily (D1) 2000.01.02 00:00 - 2012.12.30 00:00 (2000.01.01 - 2012.12.31)			
Model	Every tick (the most precise method based on all available least timeframes)			
Parameters	MGTON=false;			
Bars in test	5060	Ticks modelled	82840281	Modelling quality 90.00%
Mismatched charts errors	18			
Initial deposit	20000.00			
Total net profit	360.79	Gross profit	9601.30	Gross loss -9240.51
Profit factor	1.04	Expected payoff	0.56	
Absolute drawdown	402.60	Maximal drawdown	717.09 (3.53%)	Relative drawdown 3.53% (717.09)
Total trades	641	Short positions (won %)	0 (0.00%)	Long positions (won %) 641 (53.51%)
		Profit trades (% of total)	343 (53.51%)	Loss trades (% of total) 298 (46.49%)
		Largest profit trade	28.00	loss trade -31.14
		Average profit trade	27.99	loss trade -31.01
		Maximum consecutive wins (profit in money)	7 (196.00)	consecutive losses (loss in money) 6 (-186.05)
		Maximal consecutive profit (count of wins)	196.00 (7)	consecutive loss (count of losses) -186.05 (6)
		Average consecutive wins	2	consecutive losses 2

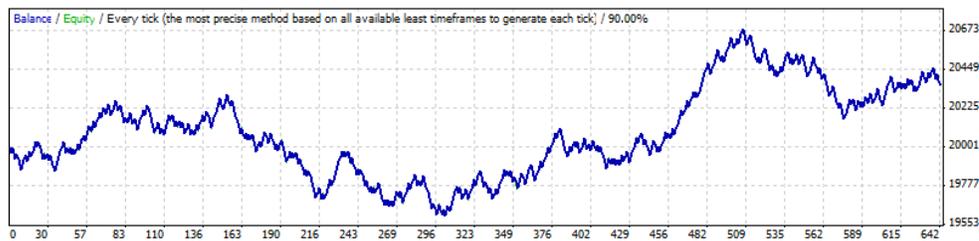


Figura 24: Reporte evaluación 8.

## Strategy Tester Report

### Dev ---Data Mining Daily V5 28PIPS MENORCF SL31 RRR2 IBFXAU-MT4-ID01 (Build 500)

Symbol	EURUSD (Euro vs US Dollar)			
Period	Daily (D1) 2000.01.02 00:00 - 2012.12.30 00:00 (2000.01.01 - 2012.12.31)			
Model	Every tick (the most precise method based on all available least timeframes)			
Parameters	MGTON=false;			
Bars in test	5060	Ticks modelled	82840281	Modelling quality 90.00%
Mismatched charts errors	18			
Initial deposit	20000.00			
Total net profit	802.46	Gross profit	7501.30	Gross loss -6698.84
Profit factor	1.12	Expected payoff	2.29	
Absolute drawdown	303.04	Maximal drawdown	702.43 (3.44%)	Relative drawdown 3.44% (702.43)
Total trades	350	Short positions (won %)	0 (0.00%)	Long positions (won %) 350 (38.29%)
		Profit trades (% of total)	134 (38.29%)	Loss trades (% of total) 216 (61.71%)
		Largest profit trade	56.00	loss trade -31.14
		Average profit trade	55.98	loss trade -31.01
		Maximum consecutive wins (profit in money)	5 (279.95)	consecutive losses (loss in money) 12 (-372.09)
		Maximal consecutive profit (count of wins)	279.95 (5)	consecutive loss (count of losses) -372.09 (12)
		Average consecutive wins	2	consecutive losses 3

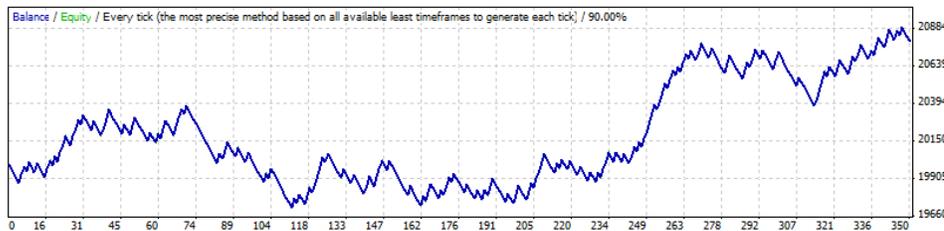


Figura 25: Reporte evaluación 10

## Strategy Tester Report

### Dev ---Data Mining Daily V5 28PIPS MENORCF SL31 RRR2 BIGLOT FOR OPT IBFXAU-MT4-ID01 (Build 500)

Symbol	EURUSD (Euro vs US Dollar)			
Period	Daily (D1) 2000.01.02 00:00 - 2012.01.13 00:00 (2000.01.01 - 2012.12.31)			
Model	Every tick (the most precise method based on all available least timeframes)			
Parameters	MGTON=false; TP=56; SL=31;			
Bars in test	4758	Ticks modelled	62489004	Modelling quality 90.00%
Mismatched charts errors	0			
Initial deposit	20000.00			
Total net profit	10815.08	Gross profit	75010.17	Gross loss -64195.09
Profit factor	1.17	Expected payoff	31.72	
Absolute drawdown	2168.89	Maximal drawdown	7142.31 (28.60%)	Relative drawdown 28.60% (7142.31)
Total trades	341	Short positions (won %)	0 (0.00%)	Long positions (won %) 341 (39.30%)
		Profit trades (% of total)	134 (39.30%)	Loss trades (% of total) 207 (60.70%)
		Largest profit trade	560.00	loss trade -311.42
		Average profit trade	559.78	loss trade -310.12
		Maximum consecutive wins (profit in money)	5 (2799.53)	consecutive losses (loss in money) 12 (-3720.95)
		Maximal consecutive profit (count of wins)	2799.53 (5)	consecutive loss (count of losses) -3720.95 (12)
		Average consecutive wins	2	consecutive losses 3

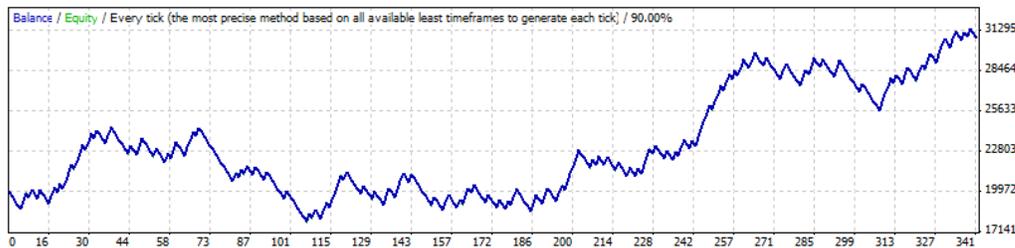


Figura 26: Reporte evaluación 11

## 6 Conclusiones y Discusión

Utilizando **data mining** para encontrar reglas de asociación rentables y en combinación con técnicas de **money management** y **algoritmos genéticos** de optimización se logró obtener una rentabilidad de un 54% en 13 años, lo que equivale a un 4.2% anualizado con un drawdown de un 29%.

La técnica **buy and hold** en el mismo periodo arroja una rentabilidad de un 30% y con drawdown de un 20%.

Al comparar los resultados obtenidos con 4 expert advisors basados en un solo indicador para el mismo horizonte de tiempo se obtienen los resultados mostrados en la tabla 19. Los expert advisors basados en un solo indicador no tienen take profit ni tampoco stop loss. Las posiciones se cierran cuando el indicador técnico respectivo da señal de venta:

ESTRATEGIA	PROFIT/LOSS	MAX DRAWDOWN
MACD	3,94%	27,55%
STOCHASTIC	-20,72%	30,64%
RSI	-18,72%	34,57%
BOLLINGER BANDS	-19,54%	37,99%

Tabla 25: Resultados obtenidos por sistemas de trading automáticos que utilizan un solo indicador técnico

Como se observa en la tabla 25 los sistemas automáticos basados en un solo indicador técnico muestran resultados negativos en un horizonte de 13 años y con un drawdown inaceptable en los mayores de los casos, ya que si tenemos un drawdown de un 30% necesitamos aumentar el patrimonio en un 43% sólo para llegar al patrimonio inicial.

Para profundizar aún más en la comparación con el sistema automatizado desarrollado en esta memoria, se programaron 4 expert advisors utilizando exactamente las mismas técnicas de money management, presentes en el mejor de los resultados obtenidos (Evaluación 11). Los resultados se muestran en la tabla a continuación.

ITEM	MACD	STOCHASTIC	RSI	BBANDS
TOTAL NET PROFIT	USD 77,99	USD 5.416,23	-USD 19.793,18	USD 5.508,24
MAX DRAWDOWN	80,05%	78,75%	99,11%	39,72%
PROFIT TRADES	35,63%	35,69%	33,52%	36,30%
LOSS TRADES	64,37%	64,31%	66,48%	63,70%
MAX CONSECUTIVE WINS	7	8	6	6
MAX CONSECUTIVE LOSS	16	21	16	14

Tabla 26: Resultados obtenidos por 1 sólo indicador utilizando los mismos parámetros de la evaluación 11.

A continuación se presentan los reportes con todas las estadísticas relevantes de las evaluaciones mencionadas en la tabla 26.

## Strategy Tester Report

### Dev ---Data Mining Daily Technical Analysis Comparison

IBFXAU-MT4-ID01 (Build 509)

Symbol	EURUSD (Euro vs US Dollar)			
Period	Daily (D1) 2000.01.02 00:00 - 2012.12.30 00:00 (2000.01.01 - 2012.12.31)			
Model	Every tick (the most precise method based on all available least timeframes)			
Parameters	MGTON=false; TP=56; SL=31;			
Bars in test	5059	Ticks modelled	76460808	Modelling quality 90.00%
Mismatched charts errors	1			
Initial deposit	20000.00			
Total net profit	77.99	Gross profit	1306944.83	Gross loss -1306866.84
Profit factor	1.00	Expected payoff	0.01	
Absolute drawdown	8793.59	Maximal drawdown	44972.56 (80.05%)	Relative drawdown 80.05% (44972.56)
Total trades	6550	Short positions (won %)	0 (0.00%)	Long positions (won %) 6550 (35.63%)
		Profit trades (% of total)	2334 (35.63%)	Loss trades (% of total) 4216 (64.37%)
		Largest profit trade	560.00	loss trade -310.56
		Average profit trade	559.96	loss trade -309.98
		Maximum consecutive wins (profit in money)	7 (3920.00)	consecutive losses (loss in money) 16 (-4960.73)
		Maximal consecutive profit (count of wins)	3920.00 (7)	consecutive loss (count of losses) -4960.73 (16)
		Average consecutive wins	2	consecutive losses 3

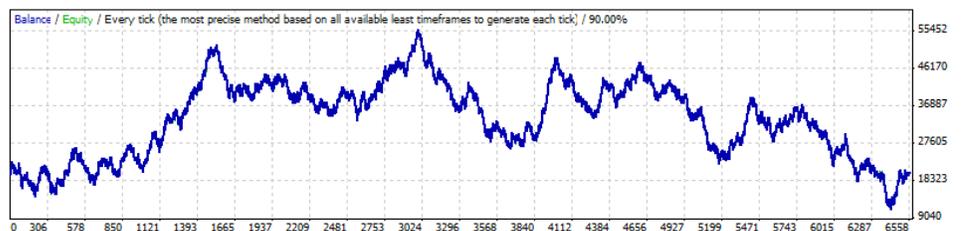


Figura 27: Reporte utilizando sólo MACD

## Strategy Tester Report

### Dev ---Data Mining Daily Technical Analysis Comparison

IBFXAU-MT4-ID01 (Build 509)

Symbol	EURUSD (Euro vs US Dollar)			
Period	Daily (D1) 2000.01.02 00:00 - 2012.12.30 00:00 (2000.01.01 - 2012.12.31)			
Model	Every tick (the most precise method based on all available least timeframes)			
Parameters	MGTON=false; TP=56; SL=31;			
Bars in test	5059	Ticks modelled	76460808	Modelling quality 90.00%
Mismatched charts errors	1			
Initial deposit	20000.00			
Total net profit	5416.23	Gross profit	2106566.16	Gross loss -2101149.93
Profit factor	1.00	Expected payoff	0.51	
Absolute drawdown	19700.04	Maximal drawdown	55889.20 (78.75%)	Relative drawdown 98.71% (22974.55)
Total trades	10540	Short positions (won %)	0 (0.00%)	Long positions (won %) 10540 (35.69%)
		Profit trades (% of total)	3762 (35.69%)	Loss trades (% of total) 6778 (64.31%)
		Largest profit trade	560.00	loss trade -310.56
		Average profit trade	559.96	loss trade -310.00
		Maximum consecutive wins (profit in money)	8 (4479.60)	consecutive losses (loss in money) 21 (-6511.21)
		Maximal consecutive profit (count of wins)	4479.60 (8)	consecutive loss (count of losses) -6511.21 (21)
		Average consecutive wins	2	consecutive losses 3

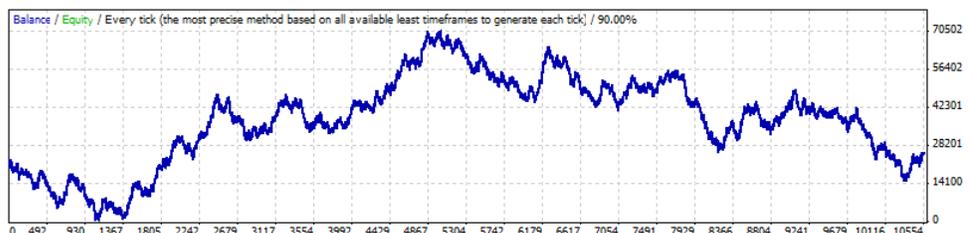


Figura 28: Reporte utilizando sólo STOCH.

## Strategy Tester Report

### Dev ---Data Mining Daily Technical Analysis Comparison

IBFXAU-MT4-ID01 (Build 509)

Symbol	EURUSD (Euro vs US Dollar)				
Period	Daily (D1) 2000.01.02 00:00 - 2012.12.30 00:00 (2000.01.01 - 2012.12.31)				
Model	Every tick (the most precise method based on all available least timeframes)				
Parameters	MGTON=false; TP=56; SL=31;				
Bars in test	5059 Ticks modelled	76460808	Modelling quality	90.00%	
Mismatched charts errors	1				
Initial deposit	20000.00				
Total net profit	-19793.18	Gross profit	203260.98	Gross loss	-223054.16
Profit factor	0.91	Expected payoff	-18.28		
Absolute drawdown	19793.18	Maximal drawdown	23067.70 (99.11%)	Relative drawdown	99.11% (23067.70)
Total trades	1083	Short positions (won %)	0 (0.00%)	Long positions (won %)	1083 (33.52%)
		Profit trades (% of total)	363 (33.52%)	Loss trades (% of total)	720 (66.48%)
		Largest profit trade	560.00	loss trade	-310.32
		Average profit trade	559.95	loss trade	-309.80
		Maximum consecutive wins (profit in money)	6 (3359.92)	consecutive losses (loss in money)	16 (-4961.05)
		Maximal consecutive profit (count of wins)	3359.92 (6)	consecutive loss (count of losses)	-4961.05 (16)
		Average consecutive wins	2	consecutive losses	3

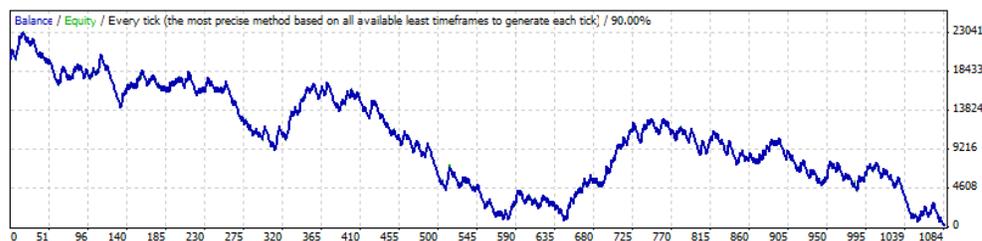


Figura 29: Reporte utilizando sólo RSI.

## Strategy Tester Report

### Dev ---Data Mining Daily Technical Analysis Comparison

IBFXAU-MT4-ID01 (Build 509)

Symbol	EURUSD (Euro vs US Dollar)				
Period	Daily (D1) 2000.01.02 00:00 - 2012.12.30 00:00 (2000.01.01 - 2012.12.31)				
Model	Every tick (the most precise method based on all available least timeframes)				
Parameters	MGTON=false; TP=56; SL=31;				
Bars in test	5059 Ticks modelled	76460808	Modelling quality	90.00%	
Mismatched charts errors	1				
Initial deposit	20000.00				
Total net profit	5508.24	Gross profit	194309.04	Gross loss	-188800.80
Profit factor	1.03	Expected payoff	5.76		
Absolute drawdown	2518.44	Maximal drawdown	11519.93 (39.72%)	Relative drawdown	39.72% (11519.93)
Total trades	956	Short positions (won %)	0 (0.00%)	Long positions (won %)	956 (36.30%)
		Profit trades (% of total)	347 (36.30%)	Loss trades (% of total)	609 (63.70%)
		Largest profit trade	560.00	loss trade	-310.32
		Average profit trade	559.97	loss trade	-310.02
		Maximum consecutive wins (profit in money)	6 (3360.00)	consecutive losses (loss in money)	14 (-4340.08)
		Maximal consecutive profit (count of wins)	3360.00 (6)	consecutive loss (count of losses)	-4340.08 (14)
		Average consecutive wins	1	consecutive losses	2

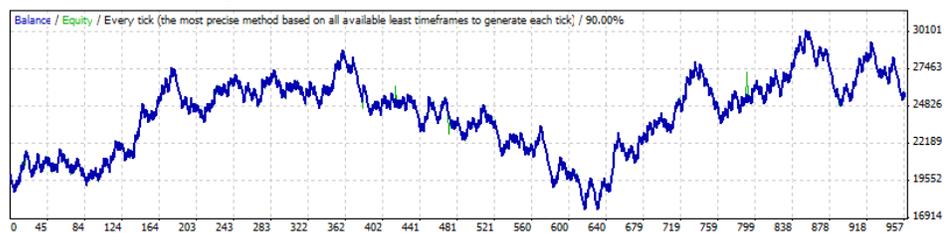


Figura 30: Reporte utilizando sólo BBANDS.

Considerando las evaluaciones que se desarrollaron, el elemento que significó pasar de resultados negativos a positivos fue el uso del concepto de **contraconfianza** en las reglas de asociación obtenidas.

Como se comentó en secciones anteriores de la presente memoria, la experiencia de aplicaciones exitosas de data mining en finanzas que se encuentran en la literatura son escasas y en la sección 5. *Resultados* se demuestra que para esta aplicación particular, luego de incorporar al análisis de data mining técnicas de money management, se observó una mejora considerable en los resultados obtenidos.

Otro punto a destacar, es que es más factible superar a la técnica buy and hold utilizando posiciones largas y cortas (compras y ventas). En el contexto de esta tesis se logró superar los resultados obtenidos por la técnica buy and hold sólo teniendo en consideración reglas para entrar largos (comprar) en el mercado y no tomando posiciones largas y cortas.

Dentro de las limitaciones de esta memoria se encuentra el hecho de que se evaluaron reglas de asociación asociadas a compra y no venta, se programó el expert advisor de modo de no tomar más de un trade al mismo tiempo, de manera de que hay trades que se ejecutan cuando se cierra un trade abierto y no en el momento preciso en que se gatilló la condición determinada. Adicionalmente, es factible que más de una condición se cumpla en un mismo día y MT4 toma la primera condición que se cumpla y gatilla el trade en base a esta

Adicionalmente, pese a que la literatura plantea que no hay métricas que sean mejores que otras en todos los ámbitos de aplicaciones, el uso de soporte como métrica tiene sus ventajas y desventajas. La mayor ventaja es que representa la significancia estadística de un patrón. Sin embargo, la elección de un soporte mínimo en reglas de asociación es arbitrario en parte y puede ocurrir que ese soporte mínimo pueda dejar fuera del análisis reglas que están altamente relacionadas influyendo en el resultado final del estudio [33]

Posibles extensiones de este estudio son evaluar reglas de compra y venta, evaluar reglas de asociación intradiarias considerando los horarios en los que se traslapan los mayores centros financieros y que constituyen las instancias de mayor volatilidad en el mercado. La volatilidad genera un mayor movimiento en las divisas y como consecuencia es más probable poder ejecutar una transacción exitosa utilizando las señales correctas, ya que la volatilidad aumenta la probabilidad de que se genere una tendencia [21].

Desde el punto de vista de la metodología, el problema propuesto en esta memoria se podría extender a muchas más variables, con lo que el tiempo utilizado en encontrar reglas de asociación pasaría a tener una importancia relevante. Para solucionar esto, se podrían utilizar algoritmos tales como Apriori, AprioriTid y AprioriHybrid [3]. Adicionalmente, se podrían buscar atributos de decisión que generen atributos de condición en más de un marco de tiempo (i.e. diario y semanal) con lo que se debería abordar el problema utilizando reglas de asociación n-dimensionales (5).

Otros enfoques distintos a reglas de asociación serían utilizar Redes Neuronales [8] o Algoritmos genéticos [31,32].

## 7 Bibliografia

---

1. Pawlak, Z. (1997). Rough set approach to knowledge-based decision support. *European journal of operational research*, 99(1), 48-57.
2. Agrawal, R., Imieliński, T., & Swami, A. (1993, June). Mining association rules between sets of items in large databases. In *ACM SIGMOD Record* (Vol. 22, No. 2, pp. 207-216). ACM.
3. Agrawal, R., & Srikant, R. (1994, September). Fast algorithms for mining association rules. In *Proc. 20th Int. Conf. Very Large Data Bases, VLDB* (Vol. 1215, pp. 487-499).
4. Das, G., Lin, K. I., Mannila, H., Renganathan, G., & Smyth, P. (1998, August). Rule Discovery from Time Series. In *KDD* (Vol. 98, pp. 16-22).
5. Lu, H., Han, J., & Feng, L. (1998, June). Stock movement prediction and n-dimensional inter-transaction association rules. In *Proc. of the ACM SIGMOD Workshop on Research Issues in Data Mining and Knowledge Discovery* (p. 12)
6. Karimi, Kamran, and Howard J. Hamilton. "Generation and Interpretation of Temporal Decision Rules." *arXiv preprint arXiv:1004.3334* (2010)
7. Cheng, Grace. *7 Winning Strategies For Trading Forex: Real and actionable techniques for profiting from the currency markets*. Harriman House Limited, 2007.
8. Azoff, E. Michael. *Neural network time series forecasting of financial markets*. John Wiley & Sons, Inc., 1994.
9. Person, John L. *Forex Conquered: High Probability Systems and Strategies for Active Traders*. Wiley. com, 2007.
10. Murphy, John. *Technical analysis of the financial markets: A comprehensive guide to trading methods and applications*. Penguin. com, 1999.
11. Achelis, Steven B. *Technical Analysis from A to Z*. New York: McGraw Hill, 2001.
12. Horner, Raghee. *Forex Trading for Maximum Profit: The Best Kept Secret Off Wall Street*. Ed. Jeffrey Alan Brandzel. Wiley, 2005.
13. Horner, Raghee. *Thirty Days of FOREX Trading: Trades, Tactics, and Techniques*. Vol. 272. Wiley. com, 2012.
14. Elder, Alexander. *Trading for a living: psychology, trading tactics, money management*. Vol. 31. John Wiley & Sons, 1993.

15. Ponsi, Ed. *Forex Patterns and Probabilities: Trading Strategies for Trending and Range-Bound Markets*. Vol. 299. John Wiley & Sons, 2007.
16. Toshchakov, I. G. O. R. "Beat the Odds in Forex Trading." (2006).
17. Archer, Michael D. *Getting Started in Currency Trading,+ Companion Website: Winning in Today's Market*. Vol. 95. Wiley. com, 2012.
18. Booker, Rob. *Adventures of a currency trader: a fable about trading, courage, and doing the right thing*. Vol. 286. Wiley. com, 2010.
19. Lien, Kathy. *Day trading and swing trading the currency market: technical and fundamental strategies to profit from market moves*. Vol. 394. Wiley. com, 2008.
20. DeMark, Thomas R. *The new science of technical analysis*. Vol. 45. Wiley. com, 1994.
21. DeMark, Thomas R. *New market timing techniques: innovative studies in market rhythm & price exhaustion*. Vol. 63. John Wiley & Sons, 1997.
22. Baumohl, Bernard. *The secrets of economic indicators: hidden clues to future economic trends and investment opportunities*. FT Press, 2012.
23. Appel, Gerald. *Technical analysis: power tools for active investors*. Financial Times/Prentice Hall, 2005.
24. Miner, Robert C. *High probability trading strategies: Entry to exit tactics for the forex, futures, and stock markets*. Vol. 420. Wiley. com, 2008.
25. Balsara, Nauzer J. *Money management strategies for futures traders*. Vol. 4. John Wiley & Sons, 1992.
26. Cofnas, Abe. *The forex trading course: a self-study guide to becoming a successful currency trader*. Vol. 318. John Wiley & Sons, 2008.
27. McDowell, Bennett A. *A Trader's Money Management System: How to Ensure Profit and Avoid the Risk of Ruin*. Vol. 406. Wiley, 2010.
28. Bollinger, John. *Bollinger on Bollinger bands*. New York: McGraw-Hill, 2002.
29. Wilder, J. Welles. *New concepts in technical trading systems*. McLeansville, NC: Trend Research, 1978.
30. Ponsi, Ed. *The Ed Ponsi forex playbook: Strategies and trade set-ups*. Vol. 453. Wiley. com, 2010.
31. Allen, Franklin, and Risto Karjalainen. "Using genetic algorithms to find technical trading rules." *Journal of financial Economics* 51.2 (1999): 245-271.

32. Bauer, Richard J. *Genetic algorithms and investment strategies*. John Wiley & Sons, Inc., 1994.
33. Tan, P. N., Kumar, V., & Srivastava, J. (2002, July). Selecting the right interestingness measure for association patterns. In Proceedings of the eighth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining (pp. 32-41). ACM.
34. Babypips. [en línea] <http://www.babypips.com>
35. Forex Indicators. [en línea] <http://www.forex-indicators.net>
36. Bollinger Bands [en línea] <http://www.bollingerbands.com>
37. Forex trading systems collection revealed! [en línea] <http://www.forex-strategies-revealed.com>
38. Agrawal, R., Mannila, H., Srikant, R., Toivonen, H., & Verkamo, A. I. (1996). Fast Discovery of Association Rules. *Advances in knowledge discovery and data mining*, 12(1), 307-328.
39. Srikant, R., & Agrawal, R. (1996, June). Mining quantitative association rules in large relational tables. In *ACM SIGMOD Record* (Vol. 25, No. 2, pp. 1-12). ACM.