

# FACULTAD DE ESTUDIOS ESTADÍSTICOS

## MÁSTER EN MINERÍA DE DATOS E INTELIGENCIA DE NEGOCIOS

Curso 2019/2020

---

### Trabajo de Fin de Máster

***TÍTULO: Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.***

**Alumno: Francisco Javier Torres López**

**Tutor: Javier Castro Cantalejo**

Junio de 2020



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE  
MADRID







## Resumen

El índice VIX expresa la volatilidad de la bolsa americana S&P 500 en base a una metodología de cálculo que tiene en cuenta principalmente los precios de las opciones que cotizan sobre el S&P 500. Es el índice de volatilidad del mercado americano por excelencia, y el más consultado por los analistas como medidor de la incertidumbre.

Este trabajo, partiendo de la premisa del alto grado de globalización de los mercados en el S. XXI, pretende explicar el comportamiento del VIX en base a un conjunto de variables de mercado tales como contravalores de divisas, índices bursátiles, tipos de interés entre otras. Para ello se recurrirá a técnicas estadísticas de análisis multivariante que procuren un modelo predictivo para el índice VIX. Es objeto del trabajo también, la implementación de un mecanismo que ejecute una estrategia de negociación de instrumentos financieros que coticen sobre el VIX, valiéndose de la información proporcionada por el modelo predictivo.

Palabras clave: Índice VIX, índice de volatilidad, análisis del VIX, volatilidad de mercado, análisis multivariante financiero, minería de datos.

## Abstract

VIX Index reflects the volatility of the S&P 500 stock, based on a calculation methodology which considers mainly S&P 500 options prices. This index supposes the volatility reference par excellence and the most consulted one by the analysts.

The aim of this paper is to explain the VIX behaviour, assuming a high grade of globalization between the financial stocks in the XXIth Century, with economical variables like currency fluctuations, stock market indexes, interest rates among many others. For that purpose, it will take into consideration statistic techniques of multivariable analysis that may provide a predictive model for the VIX Index. The implementation of a trading algorithm for VIX related instruments based on the information supplied by the predictive model, is also one of this report targets.

Keywords: VIX Index, Volatility Index, VIX analysis, stock volatility, multivariable financial analysis, data mining.



## *Agradecimientos:*

*A mi familia y a mi novia, por dotar de sentido a mi vida,  
y a mi tutor Javier Castro, por su gran vocación y  
dedicación.*



## Índice

1.	Introducción.....	1
2.	VIX.....	5
2.1.	Introducción al VIX.....	6
2.2.	Cálculo, paso a paso.....	7
2.3.	Comienzo .....	8
2.4.	Paso 1: seleccionar las opciones usadas en el cálculo del VIX. ....	9
2.5.	Paso 2: calcular la volatilidad de los términos “cercano” y “siguiente” .....	13
2.6.	Paso 3: aplicar la fórmula general. ....	15
3.	Objetivos.....	15
4.	Metodología.....	16
5.	Construcción de la base de datos .....	18
6.	Depuración .....	19
6.1.	Homogenización y adecuación de formatos para su posterior análisis.....	20
6.2.	Estudio de datos faltantes .....	20
6.3.	Identificación y estudio de observaciones atípicas. ....	22
6.4.	Creación de variables alternativas.....	22
6.5.	Partición de la base de datos .....	25
7.	Descriptivos .....	25
8.	Análisis multivariante .....	33
8.1.	Regresión lineal múltiple .....	34
8.2.	Redes neuronales .....	44
8.3.	Comparación de redes con regresión:.....	48
8.4.	Modelo final ganador .....	49
9.	Aplicación del modelo predictivo ganador en una negociación automática.....	51
9.1.	Selección del instrumento financiero .....	52
9.2.	Definición de la estrategia de negociación .....	56
9.3.	Parametrización del mecanismo .....	57
9.4.	Resultados de la ejecución.....	61
10.	Conclusiones .....	64
11.	Revisión de la literatura.....	66
12.	Bibliografía .....	68

13.	Anexos.....	69
13.1.	Conjunto de variables.....	69
13.2.	Glosario.....	84
13.3.	Apéndice del conjunto de datos completo en el cálculo del VIX.....	87
13.4.	Diccionario variables.....	91
13.5.	Código SAS.....	92

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

## 1. Introducción.

En los últimos cincuenta años, la evolución tecnológica, la liberalización de la economía y la asunción de políticas antibeligerantes en las grandes potencias del mundo contemporáneo, han propiciado la aparición del fenómeno conocido como globalización. Este fenómeno implica múltiples consecuencias en ámbitos socioculturales, demográficos y económicos entre otros. Así pues, es lógico pensar que, aún hallándonos en lo que se augura como solamente el valle de una onda gigantesca, ya despierte un gran interés en su definición, medición y acotación. En mi caso particular, es el campo de la macroeconomía el que suscita más curiosidad. Y dentro de la macroeconomía, que mejor exponente de ésta, que los mercados financieros en cuya base se sustenta la estabilidad financiera mundial en un equilibrio en ocasiones precario.

El ejercicio de resumir el funcionamiento del sistema financiero mundial actual resulta ambicioso, ya no para la introducción de una modesta tesis como ésta, sino incluso como tema central de la de cualquier experto en la materia. No obstante, en un temerario intento, me aventuraré a trazar las que considero líneas principales en la definición del sistema financiero mundial actual. Atendiendo a una definición estrictamente académica, se puede determinar como el marco mundial de acuerdos legales, instituciones y agentes económicos tanto formales como informales que en conjunto facilitan flujos internacionales de capital financiero para propósitos de inversión y financiación comercial. En otras palabras, en un mundo en el que el individuo necesita especular con sus expectativas futuras de ingresos para afrontar la adquisición de bienes presentes; los Estados y las empresas multinacionales, con el mismo o incluso mayor poder que éstos, actúan de la misma manera, acudiendo a la financiación para hacer frente a sus obligaciones de pagos actuales y para el emprendimiento de proyectos futuros. Tanto en la macro como en la microeconomía, los exigentes costes no permiten que la totalidad de las deudas se salden en el momento de la transacción, sino que se sustituye por acuerdos contractuales de pago futuro, que generan una cadena infinita de dependencia económica en la cual no escapa prácticamente nadie.

De esta manera, el sistema financiero lo constituyen todos los intervinientes en él, desde cada uno de los individuos, físicos y jurídicos, a los Estados en los que habitan, y las entidades financieras que los espolean. Es preciso hacer aquí un inciso para reseñar lo apropiado de término de “entidad financiera” para referirse a un banco. Y es que en castellano la palabra “ente” hace referencia en su primera acepción a “cosa” o “ser”

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

que tiene una existencia real o imaginaria. El término no puede ser más idóneo en este caso, dado que en la actualidad, el organismo de un banco ha evolucionado hasta una complejidad tal, que podría considerarse como un ente con vida propia que asegura su propia supervivencia y posee un mecanismo sofisticado con el único cometido de generar valor económico limitado exclusivamente por las restricciones del marco legal cambiante según el Estado en el que opera, y las regulaciones periódicas específicas de los bancos centrales a los cuales aplica su actividad. El banco es el mejor ejemplo de la idiosincrasia del sistema financiero actual, está presente en la concesión de pequeños préstamos a individuos para la consecución de sus objetivos personales, en la financiación de proyectos y de la actividad diaria de grandes empresas multinacionales, en la financiación a organismos estatales en la misma naturaleza que las grandes empresas, en la inversión y especulación en su propio nombre y beneficio en el resto de actores del sistema; además de la coexistencia con otros bancos, financiándose mutuamente, comprándose en ocasiones y formando parte de los bancos centrales que actúan como regidores del sistema.

Al contrario de la creencia extendida de que un banco le pertenece a una única persona o un grupo de personas muy poderosas, en absoluto cierta, un banco es al sistema financiero como el sistema financiero es al banco. Si el sistema financiero se desmoronara, los bancos desaparecerían, si los bancos quebraran, el sistema financiero quebraría. Si se observa el accionariado de un banco en la actualidad, las continuas ampliaciones de capital y la negociación exhaustiva de sus títulos, han causado que las participaciones pertenezcan en un mínimo porcentaje a accionistas individuales (personas físicas), ya que la práctica mayoría de accionistas son otros bancos, empresas y sobre todo fondos de inversión, todos ellos a su vez son poseídos por otros bancos, otras empresas otros pequeños inversores y otros fondos de inversión. Esto se acentúa al advertir que el máximo órgano que rige sobre bancos y empresas es la junta de accionistas, ésta se compone de los representantes de los accionistas con mayor participación, esto es, otros bancos y empresas de la competencia, que recíprocamente poseen también otros bancos y empresas en sus respectivas juntas.

Esta simbiosis entre banco y sistema, se manifiesta también en una manera proporcional a la relación Estado-Banco Central, ya que los bancos centrales pueden ser fruto de una asociación de Estados en un contexto geopolítico común, como es el caso de la Unión Europea y el Banco Central Europeo, o bien exclusivamente de un Estado como Estados Unidos y la Reserva Federal Americana. De igual manera que la relación individuo-Estado, en la cual si bien un Estado nace de los individuos que lo conforman, éste adquiere una entidad propia imperecedera, aunque continúa

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

dependiendo de los individuos al igual que los individuos dependen de él. Se crea así, una relación de dependencia absoluta y un equilibrio entre todos los actores que integran el sistema financiero.

Una vez expuesta la relación de todos los intervinientes en el sistema financiero, se introduce el canal principal de comunicación en el que interactúan los integrantes del sistema, los mercados financieros. Un mercado financiero es un espacio virtual que sirve como punto de encuentro para oferentes y demandantes de financiación. Su tipología es tan diversa como los instrumentos financieros que en él se comercian (divisas, renta fija, renta variable, derivados, titulizaciones, productos híbridos, etc), y por tanto no es menester definirlo en toda su amplitud. A continuación, y a colación de lo escrito al comienzo de este texto, se mostrará el aspecto que más ha mutado de los mercados financieros en los últimos años: su forma de negociación.

La evolución exponencial de la tecnología ha salpicado a la mayoría de los aspectos del mundo laboral, y la negociación en los mercados de valores no es una excepción. Lejos quedan ya los tiempos en los que se “jugaba” en bolsa, operando en corros en el “parquet”, más tarde pegados al teléfono, o la colonización de un mercado virgen y salvaje en el que proliferaban productos financieros nuevos aún no contemplados en la legislación. La informatización de los procesos y el robusto marco regulatorio propiciado tras una catastrófica crisis económica, han favorecido la transformación del mercado financiero, hallándonos así, en el mismo escenario pero con distintas herramientas y reglas del juego.

La negociación en el mercado de valores requiere de cualidades exigentes como la toma acelerada, y en ocasiones acrobática, de decisiones, el autocontrol a la hora de ser cautos o asumir pérdidas, la sobreexposición a los factores exógenos que alteran las cotizaciones y muchas más. Este conjunto de aptitudes responden a una meta definida cuya metodología plasmamos en una estrategia. Lo que acontece tanto a grandes empresas, como a inversores particulares en menor medida, y nos atañe en este estudio, es la deshumanización en la ejecución de estas estrategias. Se recurre a un elemento matemático como es el algoritmo para constreñir los parámetros de actuación que conducirán a la consecución de la estrategia. Los algoritmos son concebidos por humanos y emprendidos por máquinas. En la práctica totalidad de multinacionales es ya una realidad el empleo de algoritmos por las múltiples virtudes que presenta respecto al hombre. Por citar alguna de ellas, la rapidez de actuación en nanosegundos en las transacciones supone una ventaja frente a los competidores, la ausencia del riesgo operacional si está bien programado, la apatía en los mercados que evita reacciones humanas, y las propiedades de las máquinas aplicadas a este contexto

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

ocasionan una mayor consistencia de los planes trazados y nos concede la oportunidad de replicar o diversificar la estrategia en otros mercados de forma estricta.

No obstante, la utilización de algoritmos en la negociación no es invulnerable. Existen riesgos físicos como la conexión a la red o la alimentación a la corriente eléctrica que representan una amenaza si yerran, aunque con una probabilidad no significativa. Con un nivel de significación mayor se dan los riesgos asociados a la herramienta creadora del algoritmo; contratiempos de licencias o errores en la programación del código así como fallos intrínsecos de la herramienta. Aunque con diferencia, la principal limitación del algoritmo es su naturaleza no susceptible a la información exterior que altera los mercados, ya que carece de la psicología humana para interpretar dicha información y traducirla en estrategias. Por tanto los algoritmos representan una mejora cualitativa en la negociación pero su uso requiere de una minuciosa supervisión humana. Cualquier algoritmo debe ser establecido bajo una cuidadosa parametrización, una sólida fase de pruebas, un exhausto control que permita su trazabilidad y la evaluación de su eficiencia, y una continua supervisión experta.

Este proyecto tiene como objetivo evaluar si los algoritmos de negociación concebidos en laboratorio, en base a técnicas de análisis multivariante estadístico fruto de un estudio pormenorizado del mercado pueden llegar a ser eficientes con ánimo de lucro.

Bajo la premisa de incidir en un estudio que contemple la negociación automática en base a algoritmos en el mercado de valores tal y como se definió en el apartado introductorio, se ha optado por el índice de volatilidad americano, más conocido como VIX.

Un universo tan rico en elementos como es el de mercados financieros, abre un amplio abanico de posibilidades en lo que a temas de estudio se refiere. Sirven como objeto de estudio cualquier valor negociado públicamente en los cientos o incluso miles de bolsas mundiales, también podría resultar interesante la evolución de los tipos, el comportamiento de índices o la determinación del precio de complejos instrumentos derivados. La elección del VIX, corresponde, más que a un criterio arbitrario, al deseo de escoger un objeto de estudio realmente representativo de lo que se pretende averiguar. Si se tuviera que acotar geográficamente en primer lugar, una zona económica dominante, Estados Unidos sería la opción más adecuada, entre otras razones por su papel precursor del liberalismo económico más puro cercano a la teoría de Adam Smith, que ha encabezado durante el siglo XX, por demostrar ser una de las economías más influyentes en el mundo, y ateniéndose a guarismos oficiales, por suponer entre otras cosas, el país cuya bolsa mueve el mayor volumen de negociación en el mundo. Esta elección por lo tanto, recoge las dos principales metas expresadas

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

en el apartado introductorio; el estudio de la negociación moderna en el mercado de valores en una economía potente, y la evaluación del nivel de correlación que existe con las otras potencias debido a la globalización.

Una vez ubicada la región, también restan múltiples opciones para la observación estadística, como se ha mencionado en el párrafo anterior, serían buenas opciones el seguimiento de los tipos de interés esgrimidos por la Reserva Federal Americana, de los futuros y las opciones de los grandes valores de la bolsa americana o los bonos del Estado. Sin embargo, en pos de seleccionar un índice que recoja el comportamiento del mercado americano en particular y de la economía globalizada en general, se decidió estudiar el VIX, que al tratarse de un índice de volatilidad, recoge específicamente la variabilidad de la bolsa americana, e implícitamente la estabilidad de la economía americana, y por ende, es un gran indicador de la estabilidad financiera global.

### 2. VIX.

Aunque existen otros índices para medir la volatilidad, como son el *VIX* para el *Nasdaq 100*, el *RVX* para el *Russell 2000* y el *VXD* para el *Dow Jones Industrial Average*, el VIX (en base al *S&P 500*) es sin duda, el más famoso y utilizado. Durante los últimos años los analistas, se fijan en él, y lo toman como referencia para sus inversiones directas en opciones y también como indicativo de la marcha de la bolsa americana. No obstante, la interpretación del índice es más compleja de lo que pueda aparentar en primera instancia, y a menudo, sus incorrectas lecturas han causado grandes pérdidas.

El VIX debe su origen a la *Chicago Board Options Exchange* (habitualmente presentada según sus siglas en inglés CBOE, que en castellano corresponden al mercado de opciones de Chicago), casa fundada en 1973 por el *Chicago Board of Trade* (CBOT); el mercado de opciones y futuros más antiguo del mundo, fundado en 1843, y que originalmente comercializaba productos agrícolas, cuya especulación de precio futuro correspondía entre otras causas a las guerras venideras, como la guerra méjico-americana o la posterior guerra de secesión.

A continuación, se mostrará un resumen de la historia del VIX y su metodología de cálculo en base a una traducción al castellano del texto original inglés, propiedad de la CBOE:

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

## 2.1. Introducción al VIX.

En 1993, la CBOE introdujo el *CBOE Volatility Index (VIX Index)*, que fue originalmente diseñado para medir la expectativa del mercado a la volatilidad del precio de las opciones “*at-the-Money*<sup>1</sup>” a 30 días del índice *S&P 100*. Pronto, se convirtió en el índice de referencia de volatilidad en el mercado americano. Es regularmente incluido en el *Wall Street Journal*, *Barron’s* y otras publicaciones líderes del sector financiero, y también en noticieros de negocios en cadenas como *CNBC*, *Bloomberg TV* y *CNN/Money* donde el índice VIX es es frecuentemente citado como el “indicador del miedo”.

Diez años más tarde, en 2003, la CBOE junto a *Goldman Sachs*, actualizaron el índice para reflejar una nueva manera de medir la volatilidad esperada, la que continúa siendo usada por teorizadores financieros, gestores de riesgo y *traders*. El nuevo índice VIX se basa en el *S&P 500*, el índice de referencia en el mercado americano de renta variable, y estima la volatilidad esperada por medio de la agregación de los precios ponderados de las opciones *puts* y *calls* del *SPX (S&P 500)* sobre una amplia gama de precios de *strike*. Dotando así, de un guión para replicar la exposición a la volatilidad de una cartera de opciones sobre el *SPX*, esta nueva metodología transforma el VIX, de un concepto abstracto a un estándar práctico para la cobertura y negociación sobre la volatilidad.

En 2004, la CBOE mejoró el VIX, incluyendo las series del *SPX Weeklys*. Introducidas por primera vez por la CBOE en 2005, estas opciones semanales, están ahora disponibles para cientos de índices, *ETF’s*, *ETN’s* y valores de renta variable, y se han convertido en una herramienta muy popular y negociada de gestión del riesgo. Hoy en día, las *SPX Weeklys* suponen un tercio de todo el volumen de negociación de opciones del *SPX*, y alcanzan cifras medias cercanas a 350.000 contratos negociados diarios a fecha de 2015.

La inclusión de las *SPX Weeklys* permitió al VIX ser calculado en base a las opciones del *S&P 500* que de forma más precisa encajan el marco temporal objetivo de 30 días de volatilidad esperada, que el VIX intenta representar. Usando opciones del *SPX* con más de 23 y menos de 37 días de expiración se asegura que el VIX refleje siempre una interpolación de dos puntos a lo largo de de la estructura de término de la volatilidad del *S&P 500*.

---

<sup>1</sup> “*At-the-money*”: expresión que hace referencia a que el precio de *strike* (de remate, en español) de una opción, es el mismo que el de su instrumento subyacente.

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

La CBOE comenzó la diseminación del VIX fuera del horario de mercado americano en abril de 2016. El índice está actualmente disponible durante el “horario de mercado extendido” entre las 2 AM y las 8:15 AM CT, así como durante el horario regular de mercado entre las 8:30 AM y las 3:15 PM CT. Como parte de la expansión del índice VIX, la CBOE implementó un algoritmo suavizado para los valores del VIX, diseminado durante ambos horarios de mercado, regulares y extendidos.

## 2.2. Cálculo, paso a paso.

Los índices de bolsa, como el S&P 500, se calculan usando los precios de sus componentes. Cada índice establece reglas que regulan la entrada o salida de los componentes, según sus valores, y una fórmula para calcular el valor global del índice.

El índice VIX es un índice de volatilidad compuesto de opciones, más que de bolsa, donde el precio de cada opción refleja la expectación de la futura volatilidad. Como los índices convencionales, el VIX emplea reglas para la selección de sus componentes y una fórmula para calcular los valores del índice.

La fórmula general para el cálculo del VIX es:

$$\sigma^2 = \frac{2}{T} \sum_i \frac{\Delta K_i}{K_i^2} e^{RT} Q(K_i) - \frac{1}{T} \left[ \frac{F}{K_0} - 1 \right]^2$$

Donde:

$\sigma$   $VIX/100 \Rightarrow VIX = \sigma \times 100$   $T$  Tiempo para expiración

$F$  Índice de nivel Forward derivado del precio de las opciones

$K_0$  Primer Strike por debajo del nivel del índice  $F$

$K_i$  Precio de strike de la  $i$ -ésima opción “*out-of-the-money*”; una *call* si  $K_i > K_0$  y una *put* si  $K_i < K_0$ ; y ambas, *put* y *call* si  $K_i = K_0$

$Q(K_i)$  El punto medio para el diferencial de la oferta y la demanda para cada opción con strike  $K_i$

<sup>2</sup> “*Out-of-the-money*”: expresión que hace referencia a que el precio de strike (de remate, en español) de una opción, está por encima del de su instrumento subyacente.

<sup>3</sup> En este contexto, la oferta y la demanda, obedecen al concepto de la diferencia entre el precio máximo de compra (demanda) y el precio mínimo de venta (oferta).

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

$\Delta K_i$  Intervalo entre los precios de *strike* menos la mitad de la diferencia entre el *strike* en cada  $K_i$

$$\Delta K_i = \frac{K_{i+1} - K_{i-1}}{2}$$

$R$  Tipo de interés libre de riesgo hasta la expiración

### 2.3. Comienzo

El índice VIX mide la volatilidad esperada a 30 días del índice *S&P 500*. Los componentes del índice VIX son opciones *call* y *put* con más de 23 y menos de 37 días para su expiración. Esto incluye opciones *SPX* “estándar” con expiración en el tercer viernes del mes, y las opciones semanales *SPX* que expiran cada viernes, excepto el tercero de cada mes. Una vez por semana, las opciones del *SPX* usadas para calcular el VIX, prolongan su vencimiento en nuevos contratos. Por ejemplo, en el segundo martes de octubre, el índice VIX sería calculado usando opciones del *SPX* con una expiración posterior a 24 días de dicho martes (como término cercano), y a 31 días (como término siguiente). Al día siguiente, las opciones del *SPX* que expiran en 30 días naturales, se convertirían en las opciones de “término cercano”, y las de 37 días naturales, las de “término siguiente”.

En este ejemplo hipotético, las opciones de “término cercano” son opciones “estándar” del *SPX* a 25 días de expiración, las opciones de “término siguiente” son opciones semanales del *SPX* colocadas PM a 32 días de expiración, y el cálculo refleja los precios observados a las 9:46 AM en el huso horario de Chicago (GMT-6). A efectos de calcular el tiempo de expiración, la expiración de las opciones “estándar” del *SPX* será considerada como la apertura del mercado en el día de liquidación del *SPX*, el tercer viernes del mes; y las opciones semanales del *SPX*, el cierre de mercado (es decir, 3:00 PM CT).

El índice VIX mide el tiempo de expiración,  $T$ , en días naturales y divide cada día en minutos con el fin de replicar la precisión comúnmente aplicada por los *traders* profesionales de opciones y volatilidad. El tiempo de expiración viene dado por la siguiente expresión:

$$T = \frac{\{M_{\text{día actual}} + M_{\text{día de liquidación}} + M_{\text{otros días}}\}}{\text{Minutos en un año}}$$

Donde:

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

$M_{\text{día actual}}$  : son los minutos restantes hasta la medianoche del día en curso.

$M_{\text{día de liquidación}}$  : son los minutos desde la medianoche hasta las 8:30 AM para las expiraciones de las opciones “estándar” del SPX; o los minutos desde la medianoche hasta las 3:00 PM para las expiraciones de las opciones semanales del SPX.

$M_{\text{otros días}}$  : son los minutos totales en los días entre el día en curso y el día de expiración.

Suponiendo las 9:46 AM como la hora de cálculo, la T para las opciones de “término cercano” y de “término siguiente”,  $T_1$  y  $T_2$  respectivamente, es:

$$T_1 = \frac{\{854 + 510 + 34.560\}}{525.600} = 0,0683486$$

$$T_2 = \frac{\{854 + 900 + 44.640\}}{525.600} = 0,0882686$$

Los tipos de interés sin riesgo,  $R_1$  y  $R_2$ , son rendimientos basados en la curva de tipos del Departamento del Tesoro de los Estados Unidos (comúnmente mencionada como los “tipos de vencimiento constante del Tesoro”, o según sus siglas en inglés, *CMTs*), para los cuales, se aplica una interpolación cúbica para deducir los rendimientos en las fechas de expiración para las opciones SPX correspondientes. Así pues, el índice VIX puede usar diferentes tipos de interés sin riesgo para cada opción de “término cercano” y “término siguiente”. En este ejemplo, se asume que  $R_1$  será igual al 0,0305% para las opciones de “término cercano”, y  $R_2$  será igual al 0,0286% para las opciones de “término siguiente”. Cabe destacar que en este ejemplo,  $T_2$  tiene un valor de 900 para  $M_{\text{día de liquidación}}$ , lo que refleja la hora de expiración de las 3:00 PM de las opciones semanales del SPX de “término siguiente”. Dado que muchos de los cálculos previos son repetitivos, solo la muestra de los cálculos representativos aparecerán a continuación. El conjunto de datos completo de las opciones SPX y sus cálculos es accesible en el apartado 13.3 del anexo de este mismo documento.

### 2.4. Paso 1: seleccionar las opciones usadas en el cálculo del VIX.

Las opciones seleccionadas son *calls* “out-of-the-money” del SPX y *puts* “out-of-the-money” del SPX centradas alrededor de su precio “at-the-money”,  $K_0$ . Solo se considerarán las opciones del SPX cotizadas con ofertas cuyos precios son distintos de cero para el cálculo del índice VIX.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

Un apunte importante: así como la volatilidad se alza y cae, el rango del precio de *strike* de las opciones con ofertas distintas de cero tiende a expandirse y contraerse. Como resultado, el número de opciones usadas para el cálculo del índice VIX puede variar de mes a mes, día a día, y hasta posiblemente de minuto a minuto.

Por cada mes de contrato:

- Determinar el índice de nivel *Forward* del SPX, F, identificando el precio de *strike* para el cual, la diferencia absoluta entre el precio de la *call* y la *put* es la más pequeña. Los precios de las *calls* y las *puts* reflejan la media de oferta y demanda para cada cotización. Como se muestra a continuación, la diferencia entre la *call* y la *put* es más pequeña en el precio de *strike* de 1.965 unidades para las opciones de “término cercano”, y de 1.960 para las de “término siguiente”.

Opciones de "término cercano"			
Precio de <i>Strike</i>	Call	Put	Diferencia
1940	38.45	15.25	23.20
1945	34.70	16.55	18.15
1950	31.10	18.25	12.85
1955	27.60	19.75	7.85
1960	24.25	21.30	2.95
<b>1965</b>	<b>21.05</b>	<b>23.15</b>	<b>2.10</b>
1970	18.10	25.05	6.95
1975	15.25	27.30	12.05
1980	12.75	29.75	17.00

Opciones de "término siguiente"			
Precio de <i>Strike</i>	Call	Put	Diferencia
1940	41.05	18.80	22.25
1945	37.45	20.20	17.25
1950	34.05	21.60	12.45
1955	30.60	23.20	7.40
<b>1960</b>	<b>27.30</b>	<b>24.90</b>	<b>2.40</b>
1965	24.15	26.90	2.75
1970	21.10	28.95	7.85
1975	18.30	31.05	12.75
1980	15.70	33.50	17.80

Usando la call y put cuyo precio de strike es 1.965 en el “término cercano”, y el de 1.960 como “término siguiente”, se llega a la fórmula:

$$F = \text{Precio de } strike + e^{RT} \times (\text{Precio de la } call - \text{Precio de la } put)$$

Los precios del índice de nivel Forward,  $F_1$  y  $F_2$ , para los términos “cercano” y “siguiente” respectivamente son:

$$F_1 = 1965 + e^{(0,000305 \times 0,0683486)} \times (21,05 - 23,15) = 1.962,89996$$

$$F_2 = 1960 + e^{(0,000286 \times 0,0882686)} \times (27,30 - 24,90) = 1.962,40006$$

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

- Para continuar, determinar  $K_0$ , como el precio de strike inmediatamente por debajo del índice de nivel Forward,  $F$ , para las opciones de “término cercano” y de “término siguiente”. En este ejemplo,  $K_{0,1} = 1960$  y  $K_{0,2} = 1960$ .
- Seleccionar las opciones *put* “*out-of-the-money*” con precios de *strike*  $< K_0$ . Empezar con el precio de *strike* de las *put* inmediatamente más bajo que  $K_0$ , y continuar sucesivamente hasta los precios más bajos de *strike*. Excluir cualquier opción *put* que posea un precio ofertado igual a cero. Como se muestra a continuación, una vez que dos *puts* con precios de *strike* consecutivos con cero ofertas, ninguna *put* con precios de *strike* más bajos es considerada para su inclusión. (Nótese las opciones *put* con precios de *strike* 1.350 y 1.355 no han sido incluidas por el criterio recién expuesto).

Precio de <i>Strike</i> de la <i>put</i>	Oferta	Demanda	¿Inclusión?
1345	0	0.15	No, al estar por debajo de dos ofertas consecutivas de 0.
1350	0.05	0.15	
1355	0.05	0.35	
1360	0	0.35	No
1365	0	0.35	No
1370	0.05	0.35	Sí
1375	0.1	0.15	Sí
1380	0.1	0.2	Sí

- Seguidamente, seleccionar las opciones *call* “*out-of-the-money*” con precios de *strike*  $< K_0$ . Empezar con el precio de *strike* de las *call* inmediatamente más bajo que  $K_0$ , y continuar sucesivamente hasta los precios más bajos de *strike*. Excluir cualquier opción *call* que posea un precio ofertado igual a cero. Al igual que las *puts*, una vez que dos *calls* con precios de *strike* consecutivos con cero ofertas, ninguna *call* con precios de *strike* más bajos es considerada para su inclusión. (Nótese la opción *call* con precio de *strike* 2.225 no ha sido incluida por el criterio recién expuesto, incluso teniendo ofertas distintas de cero).

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

Precio de <i>Strike de la call</i>	Oferta	Demanda	¿Inclusión?
2095	0.05	0.35	Sí
2100	0.05	0.15	Sí
2120	0	0.15	No
2125	0.05	0.15	Sí
2150	0	0.1	No
2175	0	0.05	No
2200	0	0.05	No, al estar por debajo de dos ofertas consecutivas de 0.
<b>2225</b>	<b>0.05</b>	<b>0.1</b>	
2250	0	0.05	

- Finalmente, seleccionar ambas *put* y *call* con sus respectivos precios de *strike*,  $K_0$ . Nótese que dos opciones son seleccionadas como  $K_0$ , mientras que una única opción, ya sea *call* o *put*, es seleccionada para cada otro precio de *strike*.
- La siguiente tabla contiene las opciones usadas para calcular el índice VIX en este ejemplo. El índice VIX utiliza la media de la oferta y la demanda cotizada, en adelante media cotizada, para cada precio de las opciones seleccionadas. Los precios  $K_0$  de las *puts* y de las *calls* son presentados en promedio a fin de obtener un valor único. El precio de *strike* 1960 determinado en el “término cercano” es por lo tanto,  $\frac{(24,25 + 21,3)}{2} = 22,775$ , y en el de “término siguiente”;  $\frac{(27,3 + 24,9)}{2} = 26,1$ .

<i>strike de "término cercano"</i>	Tipo de opción	Media cotizada
1370	Put	0.2
1375	Put	0.125
1380	Put	0.15
-	-	-
1950	Put	18.25
1955	Put	19.75
<b>1960</b>	<b>Put/Call Average</b>	<b>22.775</b>
1965	Call	21.05
1970	Call	18.1
-	-	-
2095	Call	0.2
2100	Call	0.1
2125	Call	0.1

<i>strike de "término siguiente"</i>	Tipo de opción	Media cotizada
1275	Put	0.075
1325	Put	0.15
1350	Put	0.15
-	-	-
1950	Put	21.60
1955	Put	23.20
<b>1960</b>	<b>Put/Call Average</b>	<b>26.10</b>
1965	Call	24.15
1970	Call	21.10
-	-	-
2125	Call	0.1
2150	Call	0.1
2200	Call	0.08

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

### 2.5. Paso 2: calcular la volatilidad de los términos “cercano” y “siguiente”

Aplicando la fórmula general del VIX definida en el comienzo, para las opciones de “término cercano” y “término siguiente”, con sus respectivos tiempos de expiración,  $T_1$  y  $T_2$ , se obtiene:

$$\sigma^2_{T_1} = \frac{2}{T_1} \sum_i \frac{\Delta K_i}{K_i^2} e^{R_1 T_1} Q(K_i) - \frac{1}{T_1} \left[ \frac{F_1}{K_0} - 1 \right]^2$$

$$\sigma^2_{T_2} = \frac{2}{T_2} \sum_i \frac{\Delta K_i}{K_i^2} e^{R_2 T_2} Q(K_i) - \frac{1}{T_2} \left[ \frac{F_2}{K_0} - 1 \right]^2$$

El índice VIX es un amalgama de la información reflejada en los precios de las opciones seleccionadas. La contribución de una sola opción al valor del índice VIX es proporcional a  $\Delta K$  y el precio de cada opción, y es inversamente proporcional al cuadrado del precio de *strike* de la opción.

Generalmente,  $\Delta K_i$  es la mitad de la diferencia entre los precios de *strike* en ambos  $K_i$ . Por ejemplo, el  $\Delta K$  para el “término siguiente” de la *put* con *strike* 1.325 es 37,5 lo que sale de la expresión:  $\Delta K_{1325 \text{ put}} = \frac{(1350 - 1275)}{2}$ . Como el eslabón más alto y más bajo de una cadena de opciones,  $\Delta K_i$  es simplemente la diferencia entre  $K_i$  y el precio de *strike* adyacente. En este ejemplo, la *put* de *strike* 1.370 es el *strike* más bajo en la cadena de opciones de “término cercano” y 1.375 es el *strike* adyacente. Por tanto,  $\Delta K_{1370 \text{ put}} = \frac{(1375 - 1370)}{2}$ .

La contribución del “término cercano” de la *put* con *strike* 1.370 viene dada por:

$$\frac{\Delta K_{1370 \text{ Put}}}{K_{1370 \text{ Put}}^2} e^{R_1 T_1} Q(1370 \text{ Put})$$

$$\frac{\Delta K_{1370 \text{ Put}}}{K_{1370 \text{ Put}}^2} e^{R_1 T_1} Q(1370 \text{ Put}) = \frac{5}{1370^2} e^{.000305 (0.0683486)} (0.20) = 0.0000005328$$

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

Un cálculo similar se replica para cada opción. Los valores resultantes para las opciones de “término cercano” son sumados y multiplicados por  $\frac{2}{T_1}$ . Igualmente, los valores resultantes para las opciones de “término siguiente” son sumados y multiplicados por  $\frac{2}{T_2}$ . La siguiente tabla resume los resultados para cada cadena de opciones.

strike de "término cercano"	Tipo de opción	Media cotizada	Contribución por strike	strike de "término siguiente"	Tipo de opción	Media cotizada	Contribución por strike
1370	Put	0.2	0.0000005328	1275	Put	0.075	0.0000023069
1375	Put	0.125	0.0000003306	1325	Put	0.15	0.0000032041
1380	Put	0.15	0.0000003938	1350	Put	0.15	0.0000020577
.	.	.	.	.	.	.	.
1950	Put	18.25	0.0000239979	1950	Put	21.6	0.0000284031
1955	Put	19.75	0.0000258376	1955	Put	23.2	0.0000303512
<b>1960</b>	<b>Put/Call Average</b>	<b>22.775</b>	<b>0.0000296432</b>	<b>1960</b>	<b>Put/Call Average</b>	<b>26.1</b>	<b>0.0000339711</b>
1965	Call	21.05	0.0000272588	1965	Call	24.15	0.0000312732
1970	Call	18.1	0.0000233198	1970	Call	21.1	0.0000271851
.	.	.	.	.	.	.	.
2095	Call	0.2	0.0000002278	2125	Call	0.1	0.0000005536
2100	Call	0.1	0.0000003401	2150	Call	0.1	0.0000008113
2125	Call	0.1	0.0000005536	2200	Call	0.075	0.0000007748
$\frac{2}{T_1} \sum_i \frac{\Delta K_i}{K_i^2} e^{R_1 T_1} Q(K_i)$			<b>0.018495</b>	$\frac{2}{T_2} \sum_i \frac{\Delta K_i}{K_i^2} e^{R_2 T_2} Q(K_i)$			<b>0.018838</b>

A continuación, calcular  $\frac{1}{T} \left[ \frac{F}{K_0} - 1 \right]^2$  para los términos “cercano” ( $T_1$ ) y “siguiente” ( $T_2$ ):

$$\frac{1}{T_1} \left[ \frac{F_1}{K_0} - 1 \right]^2 = \frac{1}{0.0683486} \left[ \frac{1962.89996}{1960} - 1 \right]^2 = 0.00003203$$

$$\frac{1}{T_2} \left[ \frac{F_2}{K_0} - 1 \right]^2 = \frac{1}{0.0882686} \left[ \frac{1962.40006}{1960} - 1 \right]^2 = 0.00001699$$

Ahora calcular  $\sigma_1^2$  y  $\sigma_2^2$  :

$$\sigma_1^2 = \frac{2}{T_1} \sum_i \frac{\Delta K_i}{K_i^2} e^{R_1 T_1} Q(K_i) - \frac{1}{T_1} \left[ \frac{F_1}{K_0} - 1 \right]^2 = 0.018495 - 0.00003203 = \mathbf{0.01846292}$$

$$\sigma_2^2 = \frac{2}{T_2} \sum_i \frac{\Delta K_i}{K_i^2} e^{R_2 T_2} Q(K_i) - \frac{1}{T_2} \left[ \frac{F_2}{K_0} - 1 \right]^2 = 0.018838 - 0.00001699 = \mathbf{0.01882101}$$

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

### 2.6. Paso 3: aplicar la fórmula general.

Calcular la media ponderada a 30 días de  $\sigma_1^2$  y  $\sigma_2^2$ . A continuación, hacer la raíz cuadrada de ese valor, y multiplicar por 100 para obtener el valor del VIX.

$$\text{VIX} = 100 \times \sqrt{\left\{ T_1 \sigma_1^2 \left[ \frac{N_{T_2} - N_{30}}{N_{T_2} - N_{T_1}} \right] + T_2 \sigma_2^2 \left[ \frac{N_{30} - N_{T_1}}{N_{T_2} - N_{T_1}} \right] \right\} \times \frac{N_{365}}{N_{30}}}$$

La inclusión de las opciones semanales *SPX* en el cálculo del índice VIX implica que las opciones de “término cercano” contarán siempre con más de 23 días para su expiración y las de “término siguiente” contarán siempre con menos de 37 días, de esta manera el resultado del valor del VIX reflejará siempre la interpolación de  $\sigma_1^2$  y  $\sigma_2^2$ ; es decir, cada peso individual es menor o igual que 1, y la suma de todos los pesos equivale a 1.

Volviendo al ejemplo...

$NT_1$  = número de minutos hasta la liquidación de las opciones de “término cercano” (35.924)

$NT_2$  = número de minutos hasta la liquidación de las opciones de “término siguiente” (46.394)

$N_{30}$  = número de minutos en 30 días (30 x 1.440 = 43.200)

$N_{365}$  = número de minutos en un año de 365 días (365 x 1.440 = 525.600)

$$\text{VIX} = 100 \times \sqrt{\left\{ 0.0683486 \times 0.0184629 \times \left[ \frac{46,394 - 43,200}{46,394 - 12,960} \right] + 0.0882686 \times 0.018821 \times \left[ \frac{43,200 - 35,924}{53,280 - 35,924} \right] \right\} \times \frac{525,600}{43,200}}$$

$$\text{VIX} = 100 \times 0.13685821 = 13.69$$

### 3. Objetivos

Una vez conocida la naturaleza del VIX, se procede a exponer los objetivos del estudio. Se pretende explicar los valores diarios del índice VIX a través de un conjunto de variables que recogen información de los mercados globales y del americano en particular. Haciéndolo posible con la ayuda de un modelo óptimo de predicción de

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

datos, el cual, a su vez, servirá como base para crear un mecanismo capaz de generar ganancia usando una estrategia de compra/venta de instrumentos asociados al índice VIX. Así pues, de nuevo, los objetivos son:

- Recopilar información completa, verídica y relevante de mercado global.
- Describir el comportamiento del índice y de algunas variables significativas para éste, en el paso del tiempo.
- Hallar un modelo óptimo de predicción del índice VIX.
- Construir una estrategia de negociación automática que se alimente de datos arrojados por el modelo.

En las páginas sucesivas, se desarrollará la consecución de los objetivos.

### 4. Metodología

Para lograr los objetivos propuestos, se construirá una base de datos que contenga toda la información del VIX y un conjunto de variables socioeconómicas, al ser posible de cotización diaria, que se hallen en línea con la temporalidad del VIX.

Cabe resaltar el hecho de haber desdeñado el estudio de una serie temporal según la metodología Box-Jenkins para la creación de un modelo autoregresivo de medias móviles (ARIMA). Si bien esta afamada metodología procura un modelo predictivo en base a la elección del modelo con error medio cuadrático más bajo, y es una técnica muy empleada tradicionalmente en el estudio de series económicas; no coincide con la propuesta principal del trabajo, la cual no consiste en explicar el índice VIX basándose únicamente en sus datos pasados, sino en explicarlo mediante las relaciones ocultas entre distintas variables de información de mercado financiero, partiendo de la hipótesis de que el mercado financiero actual ha llegado a un punto de globalización tal, que el comportamiento del mercado en un marco espaciotemporal concreto impacta en otro con suficiente profundidad, como para ser apreciado numéricamente.

El trabajo se desarrollará en el *software* estadístico SAS excepto en ocasiones puntuales donde se acudirá a Excel, para parte de la recopilación de datos y la creación de alguna tabla con un formato más ilustrativo. La totalidad del código empleado está disponible en los anexos, y en cada apartado del trabajo, se especificará en qué anexo se encuentra ese código.

Tal y cómo se definió en los objetivos del trabajo, se han trazado unas líneas generales sobre las que desarrollar el estudio. Aunque no sea purista al cien por cien, la

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

metodología del estudio sigue la filosofía SEMMA (muestrear, explorar, modificar, modelizar y evaluar). A la que podría añadirse una fase más de creación de datos.

En la creación de la base de datos, se irá recopilando información considerada relevante en un fichero Excel homogenizando los formatos procedentes de las distintas fuentes de información.

Al terminar la creación, se realizarán muestras, partiendo el conjunto de datos en entrenamiento, validación y prueba. Los conjuntos de entrenamiento y validación se emplearán en la búsqueda del mejor modelo, y el de prueba servirá para la creación y simulación del rendimiento de la estrategia de negociación automática.

Se modificaran los datos, al añadirle variables auxiliares que recojan la variación en distintos rangos temporales, y simplemente la misma observación con  $n$  retardos de diferencia.

Al modelizar los datos, se acudirá a técnicas estadísticas multivariante, concretamente la regresión lineal múltiple y las redes neuronales. Cabe destacar en este apartado que se producirá una bifurcación en el análisis de datos, distinguiendo dos vías, la analítica y la predictiva. En la vía analítica, se empleará un conjunto de datos que contenga variables con información del mismo día para lograr un modelo óptimo que explique casi en su totalidad el VIX, pero que carecerá de aplicaciones prácticas lucrativas, dado que al utilizar variables del mismo día no tiene ninguna utilidad predictiva. En la vía predictiva, se usará un modelo de datos que recoja información de como mínimo un día de diferencia de la variable objetivo. Esta vía será la que continuará su andadura por las redes neuronales y la creación de la estrategia de negociación automática.

Por último, la forma de validar los datos, será contrastar el  $R^2$  de entrenamiento y de validación para hallar el mejor modelo. Se ha desdeñado la validación cruzada, por el marcado carácter temporal de los datos.

En base a las ideas expuestas en los párrafos anteriores, se da paso a la enumeración de las fases concretas del trabajo que además conformarán la estructura del mismo. Estas son:

- Creación de una base de datos: que por supuesto contenga toda la información del VIX, y una selección de variables a juicio del autor, de mercado global con especial énfasis en el americano, con las que se pretende explicar el comportamiento del índice.
- Depuración de los datos originales obtenidos en el apartado anterior en caso de que sea necesario tras un análisis previo. Y creación de variables que

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

reflejen las diferencias temporales o cualquier otra transformación de las variables originales que pueda ser considerada útil para explicar la variable objetivo.

- Estudio descriptivo breve del VIX, para analizar su comportamiento a lo largo de los últimos años, y contrastarlo si se considera práctico, con el de otra de las variables explicativas.
- Análisis multivariante de la base de datos con el fin de obtener un modelo predictivo para el índice VIX en base al conjunto de datos de mercado con la ayuda de técnicas estadísticas como regresiones lineales múltiples, redes neuronales u otras similares.
- Originación, implementación y evaluación de la eficiencia de un mecanismo que ejecute una estrategia de compra/venta automática de instrumentos que cotizan sobre el VIX, alimentado con la información proveniente del modelo predictivo.

### **5. Construcción de la base de datos**

Como andadura inicial en la consecución de los objetivos, se dispone a exponer la creación de la base de datos. El primer paso es la acotación temporal del índice VIX que se va a estudiar. Tal y como se enunció en la introducción al VIX, éste se publicó por primera vez en 1993, introdujo cambios en su metodología de cálculo dos veces posteriormente en 2003, y en 2004, asestándose esta última versión como la actual a fecha de escritura. En pos de establecer un criterio homogéneo para el estudio del VIX, constarán los datos a partir de 2004 hasta la fecha final de recogida de datos, la cual corresponde al cierre del año 2018. Es decir, se tendrá en cuenta el periodo de 14 años de 2004-2018 como marco temporal.

Una vez definido el tiempo, el siguiente paso natural es seleccionar las variables que integrarán la base de datos. Como ha quedado reflejado en los diferentes apartados introductorios, este estudio parte de la premisa de que el alto grado de globalización actual en los mercados financieros, establece relaciones de dependencia entre las distintas observaciones de mercado que pueden ser apreciadas numéricamente. Por tanto las variables de mercado que se seleccionarán serán tanto de corte mundial, como americano en especial, ya que es el mercado origen del índice VIX, y el que más impacto teórico debiere tener. Las variables escogidas pretenden reflejar la pluralidad de los principales mercados financieros actuales, y han sido seleccionadas obedeciendo a cinco grandes criterios de agrupación a razón de; información de la

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

variable respuesta, divisas, índices bursátiles, tipos de interés y otras variables de interés.

La extracción de los datos se ha realizado principalmente en la plataforma *Bloomberg* que actúa como fuente fundamental de este fichero en construcción. *Bloomberg* es el proveedor oficial de datos en el mercado financiero por antonomasia. Cabe mencionar que el acceso a la plataforma es previa suscripción de pago, y en este caso ha sido facilitado por cortesía de una empresa, la cual es empleadora del autor. Con la salvedad de la información de los tipos de interés y el VIX, las cuales se obtuvieron directamente de la fuente oficial.

En la fase inicial de construcción de la base de datos, se abarcó el intervalo temporal comprendido entre el 2 de enero de 2004 y el 17 de diciembre de 2018. Suponiendo un total de 3.766 días útiles de mercado. Esta definición de días útiles de mercado, según el convenio más extendido internacional, incluye todos los días del año de lunes a viernes, exceptuando el día de año nuevo y Navidad, el primero de mayo como día del trabajador, y el Viernes Santo y Lunes de Pascua. Al recoger datos mundiales de toda índole y a lo largo de 14 años, pueden existir observaciones faltantes debidas a incidencias técnicas, el calendario laboral del país de origen u otras explicaciones. Estas anomalías serán analizadas de forma particular en la fase de depuración de datos.

El número total de variables en esta fase preliminar es de 247. La inmensa mayoría corresponden a guarismos oficiales diarios, no obstante, existen algunos datos de corte socioeconómico, por ejemplo tasas de empleo, que se expresan de forma mensual o semanal. Esta minoría se recoge en la base de datos como constante según su periodicidad en la vigencia del dato. Sin embargo, estos casos suponen una minoría, ya que la intención del estudio es contar con cotizaciones diarias, para poder apreciar su variación y analizar su impacto en el VIX.

Para no extender demasiado este apartado, el conjunto total de variables así como su nomenclatura específica, su agrupación según su naturaleza y una breve descripción individual se encuentran en el apartado 13.1 de los anexos.

### **6. Depuración**

Tras haber confeccionado la base de datos, es necesario efectuar un análisis de calidad sobre ésta y tomar las medidas de depuración en caso de que fueran necesarias. En esta fase de depuración, los objetivos serán:

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- Homogenización y adecuación de formatos para su posterior análisis.
- Estudio de datos faltantes
- Identificación y estudio de observaciones atípicas.
- Creación de variables alternativas
- Partición de la base de datos

### **6.1. Homogenización y adecuación de formatos para su posterior análisis**

Tal y como se ha reflejado en la fase de construcción de la base de datos, todas las variables son continuas a excepción de la fecha. Cabe mencionar que durante la recopilación de información, la cual se efectuó con el *software Excel*, ya se fueron corrigiendo pequeños defectos de formato, como por ejemplo la conversión de comas a puntos para la expresión de los números decimales.

El hecho de que la fuente de datos fuera constante (*Bloomberg*) durante toda la extracción de datos, con unas pocas excepciones, facilitó la tarea de homogenización, dado que todos los datos venían en el mismo formato, y además al ser de procedencia americana al igual que el *software SAS*, el separador de números decimales es el punto.

Con la certeza de que todas las variables están en el formato adecuado para su tratamiento, se procede a la codificación del nombre de las mismas, para facilitar posteriores labores en la escritura de código. El nombre de las variables codificadas corresponde a la letra “v”, más el número asignado a la variable según su orden en la base de datos. Debido a que el nombre de cada variable es largo y expresa información sobre su contenido, se guardará una tabla de equivalencia con el nombre original de la variable y su nombre codificado. La codificación de las variables, así como el resto del análisis exploratorio, puede ser consultada en el apartado de anexos 13.5.1. También el diccionario de variables de su nombre original y traducción en la codificación puede hallarse en el anexo 13.4.

### **6.2. Estudio de datos faltantes**

Si bien no se augura a priori la existencia de valores atípicos, si es esperada la de valores faltantes. Como se mencionó en el apartado de construcción de la base de datos, la naturaleza de los propios datos propicia la aparición de datos faltantes. La diferencia horaria y de calendario en los mercados mundiales, unido a la existencia de eventos de gravedad (tanto relativos a los mercados como de trascendencia geopolítica) y errores técnicos da pie a que existan días para determinadas variables en los cuales no esté disponible la información. Además también es posible que en las

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

fechas del estudio (2004-2018) existieran datos que no se hubieran publicado todavía o hubieran dejado de publicarse como el caso del *Euribor* en algunos tramos (véase *Construcción de la base de datos*).

Se asume por tanto la ausencia del dato a causas mayores, dado que la fiabilidad de la fuente (*Bloomberg*) es respaldada por las grandes entidades financieras mundiales, para las cuales es la plataforma de referencia para la consulta de información.

Primero, para identificar los datos ausentes, se recurrió al procedimiento *means*, después de ejecutarlo se identificó que algunas variables poseían el valor exacto de "0" donde le correspondería ".", dado que su naturaleza no admite ese valor y simplemente se debe a una forma inexacta de expresar la ausencia del dato y en ningún caso a su valor real. Después de transformar esos ceros en puntos, se volvió a ejecutar el procedimiento *means*. Se exportó la salida del procedimiento a *excel* y allí se creó una variable que recogiera la proporción de observaciones faltantes respecto al total de observaciones de cada variable. Se estableció como criterio que aquellas variables que sobrepasaran el 20% de datos ausentes, se eliminarían directamente de la base de datos. Estas variables fueron 27 en total:

SASEIDX\_CLOSE\_SARUSD, SASEIDX\_VOLUME\_SARUSD SASEIDX\_SMAVG\_SARUSD, TA -  
35\_CLOSE\_ILSUSD, TA-35\_VOLUME\_ILSUSD, TA-35\_SMAVG\_ILSUSD,  
SPIPSAUP\_VOLUME\_USD, SPIPSAUP\_SMAVG\_USD, HNX30\_CLOSE\_VNDUSD,  
HNX30\_VOLUME\_VNDUSD, HNX30\_SMAVG\_VNDUSD, XIN9I\_VOLUME\_CNYUSD,  
XIN9I\_SMAVG\_CNYUSD, CSEALL\_VOLUME\_LKRUSD, CSEALL\_SMAVG\_LKRUSD  
COLCAP\_VOLUME\_COPUSD, COLCAP\_SMAVG\_COPUSD,  
BNO\_US\_EQUITY\_CLOSE\_USD, VXX\_US\_EQUITY\_CLOSE\_USD, ASDZ9\_INDEX\_CLOSE  
MUNIPSA\_INDEX\_WEEKLY\_USD INJCJNS\_INDEX\_WEEKLY  
CHCA80\_INDEX\_CLOSE\_CNY, JYGGBE10\_INDEX\_CLOSE\_JPYUSD,  
SPIPSAUP\_CLOSE\_USD, euribor\_IR\_3W\_CLOSE, euribor\_IR\_4M\_CLOSE,  
euribor\_IR\_5M\_CLOSE, euribor\_IR\_7M\_CLOSE, euribor\_IR\_8M\_CLOSE,  
euribor\_IR\_10M\_CLOSE, euribor\_IR\_11M\_CLOSE, y EQRIUS\_INDEX\_WEEKLY.

Para más detalle sobre estas variables, véase el apartado de construcción de la base de datos. Para las 220 variables restantes, con el objeto de mantener una base de datos consistente sobre la que inferir estadísticamente, se optó por el método de interpolación lineal para los valores ausentes. La temporalidad de los datos y su carácter económico, propician que el método de la interpolación lineal sea fructuoso. A diferencia de otra serie de datos como pudiera ser por ejemplo, la contabilización del diámetro de una tuerca en un conjunto de piezas; una serie económica como un índice bursátil suele presentar tendencia y hasta estacionalidad, y es lógico pensar que, si en

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

un día concreto se conoce su valor, y en un salto de un día también, que el valor ausente sea la media de ambos, se prevea como cercano a la realidad.

Para llevar a cabo esta tarea, se creó una *macro* que ejecutó el procedimiento *expand* que imputa los datos faltantes por el método de interpolación lineal, para las 220 variables que integran el fichero. Tras esto, se ejecutó de nuevo el procedimiento *means*, para la verificación de que no existieran más valores ausentes, resultando positiva. De esta manera, se obtiene un fichero con 220 variables y 3.766 observaciones. Para mayor detalle sobre la técnica empleada, consúltese el apartado de *Depuración* dentro de los anexos de código SAS 13.5.1.

### 6.3. Identificación y estudio de observaciones atípicas.

Al tratarse de una base de datos diseñada específicamente para el trabajo y al haber sido ésta construida variable a variable con la información procedente de las mejores fuentes (*Bloomberg* para la inmensa mayoría, y las páginas oficiales para el VIX y los tipos de interés), no se espera a priori la identificación de muchos datos atípicos o con valores carentes de sentido. Y por esa razón se le otorgó la prioridad al tratamiento de los datos faltantes, que implicaba una problemática más realista.

Por tanto, se tomará únicamente como criterio de identificación, el procedimiento *univariate* que sigue la metodología del Test de Tukey para la detección de valores atípicos. Esto se realizó por medio de una *macro* que ejecutó dicho procedimiento sobre las 220 variables resultantes del apartado anterior, a excepción de la variable fecha. El resultado obtenido vino a confirmar las premisas, si bien existen valores que rebasan hasta siete desviaciones típicas respecto a la media (la variable objetivo, el cierre del índice VIX), son datos reales de mercado y no se trata de un error. Así sucede en el resto de variables, y bajo el juicio del autor, se concluye este apartado como negativo respecto a la existencia de valores atípicos.

### 6.4. Creación de variables alternativas

A efectos de obtener una mejor interpretabilidad de los datos, una vez que se cuenta con 220 variables depuradas, se estima conveniente la creación de variables auxiliares que amplíen la información inicial de las variables, pretendiendo así, destapar relaciones lineales que quizás no fueran apreciables a simple vista.

En adición, así como quedó plasmado en el apartado de metodología, en un momento del estudio tendrá lugar una bifurcación, en la cual se alzarán dos vías, la analítica y la predictiva. En la vía analítica, que pretende solo establecer una relación lineal explicando el índice VIX con un conjunto de variables, es lícita la utilización de

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

observaciones pertenecientes al mismo día que la observación de la variable objetivo. Sin embargo, en la vía predictiva, carecería de sentido el emplear observaciones recogidas el mismo día que el dato que se procura pronosticar. Dado que si ya se posee el dato de ese día, no hay caso en intentar predecirlo. Esta condición de la vía predictiva entraña la necesidad imperante de la creación de otras variables auxiliares, que contengan información de como mínimo, un día anterior al dato que se aspira conocer.

Bajo las premisas recién manifestadas, se exponen los criterios para la creación de variables auxiliares:

- Diferencias: se calcularán variables que recojan la variación temporal respecto de ellas mismas. La periodicidad para este tipo de variables es diaria, semanal y mensual:
  - Diaria: se expresará en el fichero con el prefijo “dif\_daily\_” seguido del nombre de la variable. Se calcula como la diferencia porcentual entre el día actual y el anterior, respecto del día anterior. Para el caso de la vía predictiva, se calcula como la diferencia porcentual entre el día de ayer y antes de ayer, respecto al de antes de ayer.
  - Semanal: se expresará en el fichero con el prefijo “dif\_weekly\_” seguido del nombre de la variable. Se calcula como la diferencia porcentual entre el día actual y el promedio de los últimos cinco días, respecto al promedio de los últimos cinco días (téngase en cuenta que se tratan de semanas efectivas de mercado, no naturales). Para el caso de la vía predictiva, se calcula como la diferencia porcentual entre el día de ayer y el promedio de los cinco días anteriores a éste, respecto al promedio de los cinco días anteriores al día de ayer.
  - Mensual: se expresará en el fichero con el prefijo “dif\_monthly\_” seguido del nombre de la variable. Se calcula como la diferencia porcentual entre el día actual y el promedio de los últimos veintiún días, respecto al promedio de los últimos veintiún días (téngase en cuenta que se tratan de meses efectivos de mercado, no naturales). Para el caso de la vía predictiva, se calcula como la diferencia porcentual entre el día de ayer y el promedio de los veintiún días anteriores a éste, respecto al promedio de los veintiún días anteriores al día de ayer.
- Retardos: se configuran sencillamente como la observación del día o días anteriores al actual. En este caso, su uso es válido para la vía predictiva también, dado que no tiene en cuenta la cifra actual para ningún cálculo.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- Un retardo de diferencia: se expresará en el fichero con el prefijo “ret\_1\_” seguido del nombre de la variable. Recoge el dato correspondiente a un día de diferencia respecto al actual.
- Dos retardos de diferencia: se expresará en el fichero con el prefijo “ret\_2\_” seguido del nombre de la variable. Recoge el dato correspondiente a dos días de diferencia respecto al actual.
- Tres retardos de diferencia: se expresará en el fichero con el prefijo “ret\_3\_” seguido del nombre de la variable. Recoge el dato correspondiente a tres días de diferencia respecto al actual.
- Cuatro retardos de diferencia: se expresará en el fichero con el prefijo “ret\_4\_” seguido del nombre de la variable. Recoge el dato correspondiente a cuatro días de diferencia respecto al actual.
- Cinco retardos de diferencia: se expresará en el fichero con el prefijo “ret\_5\_” seguido del nombre de la variable. Recoge el dato correspondiente a cinco días de diferencia respecto al actual.

Para efectuar la asignación de cada una de la tipología de las variables auxiliares a la totalidad de las variables que integran el fichero, se concibió una *macro*. Esta macro consiste esencialmente en un bucle, por el cual, se arroja en cada iteración 8 variables nuevas calculadas a partir de cada variable original. Por tanto, realiza tantas iteraciones como variables originales, en este caso 219 ya que la fecha no se considera. Una vez que finaliza, se transpone el resultado por medio del procedimiento *transpose*, y se une en un solo fichero utilizando la variable fecha como nexos. El detalle técnico está disponible en el apartado de *Depuración* dentro de los anexos de código SAS 13.5.1.

Por último, debido a que las variables auxiliares toman como referencia el dato actual para su creación, existe un desfase de hasta 21 días para el caso de las diferencias semanales, en los que el fichero posee el dato original y no el auxiliar, dado que no existe referencia temporal para crear la variable auxiliar. Esta tesitura se da con un día adicional de diferencia para el caso de la vía predictiva. Con el fin de homogeneizar el fichero, y eliminar cualquier dato ausente, se eliminan las 21 primeras observaciones de toda la base de datos en el caso de la vía analítica, y 22 en caso de la vía predictiva.

Finalizada la creación de las variables adicionales, el fichero resultante contiene 1.972 variables y 3.745 observaciones por cada variable, es decir, 7.385.140 registros para la vía analítica. Y en el caso de la vía predictiva, 1.753 variables y 3.744 observaciones por cada variable, 6.563.232 registros.

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

## 6.5. Partición de la base de datos

Para poder realizar y contrastar el posterior análisis multivariante, se practicará una partición de los datos para obtener tres conjuntos diferenciados a razón de entrenamiento, validación y testeo. Como suele ser habitual en estos casos, el conjunto de entrenamiento o apredizaje, abarcará la mayor parte de la base de datos, el de validación, será el segundo más grande y el de testeo el más pequeño.

A causa de la temporalidad de los datos, se aprovecharán los años para acotar los ficheros. La base inicial contiene la información de los años 2014-2018, mientras que los conjuntos de datos resultantes contienen:

- *Training*: fichero de entrenamiento que recoge la información del intervalo cerrado 2004-2014.
- *Validation*: fichero de validación que recoge la información del intervalo cerrado 2015-2017.
- *Test*: fichero de testeo que recoge la información del año 2018.

## 7. Descriptivos

En este punto se realizará un análisis descriptivo con intenciones meramente informativas que amenice la contextualización de las series económicas en el foco temporal objeto de estudio. La gran cantidad de variables que conforman el fichero abre un amplio abanico de posibilidades en cuanto a la creación de gráficos, sus diversas tipologías e interpretaciones. No obstante, dado que la base del trabajo se sustenta en el análisis multivariante, y la selección de variables decisivas, que vendrán determinadas por técnicas estadísticas y no por interpretaciones visuales de figuras económicas; no es preciso excederse en este aspecto.

Por tanto, a continuación se mostrarán un agregado de gráficos que ilustran la realidad económica de los últimos 14 años.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

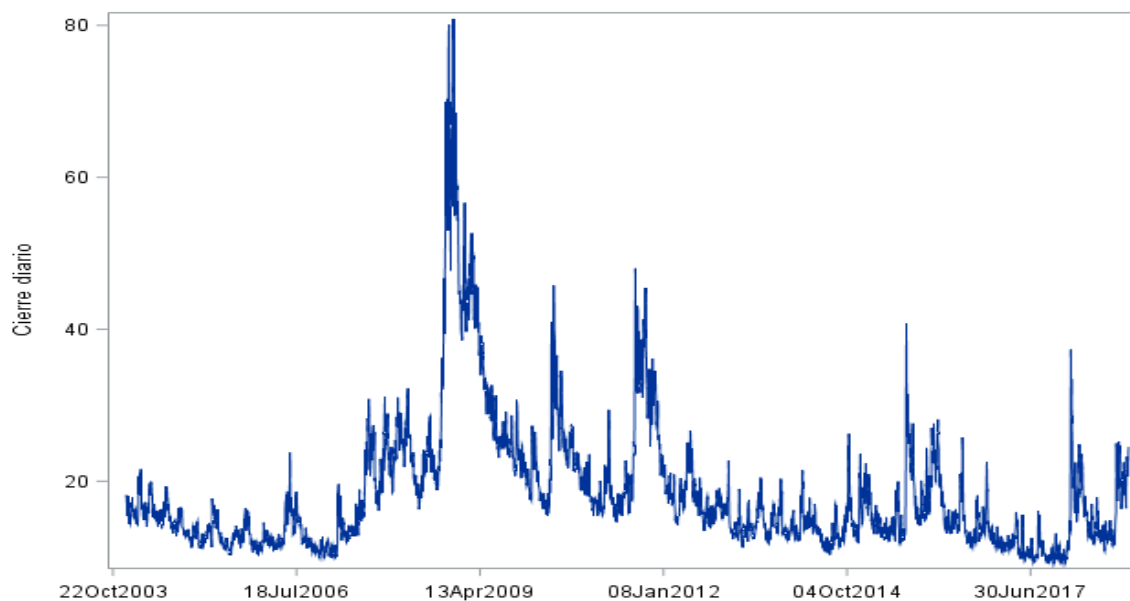


Figura 1. Serie temporal del índice VIX (2004-2018)

En la primera imagen se presenta la variable respuesta, el índice VIX. Como puede apreciarse en el gráfico, alcanzó su cota superior histórica en abril de 2009 en pleno estallido de la crisis financiera. Este índice que expresa la volatilidad del índice S&P 500, o más vulgarmente expresado como “indicador del miedo en los mercados”, reflejó en sus valores el superlativo grado de incertidumbre que vivió el mercado americano en su ascenso hasta su máximo histórico y su descenso en picado. Es importante observar la fecha de este suceso capital para la posterior comparación con los otros indicadores en dos baremos, la anticipación o reacción al impacto y el volumen de éste, respecto del VIX. La crisis económica hará las veces de carta de navegación durante el apartado descriptivo, ya que permitirá conocer cómo se comportaban los indicadores antes de ella, durante y después. Y de forma implícita, revelarnos como de apropiados son para evaluar la volatilidad.

Por otro lado, no es menos notable, la apreciación de un componente estacional que condiciona el patrón que siguen los picos de la serie. Dependiendo el período en que se hallen, éstos acentúan o disminuyen su amplitud, pero no varían su forma, la cual podría asemejarse a una campana de Gauss. Podría deducirse de este comportamiento en la variabilidad, que existe cierto componente cíclico en el mercado estadounidense, que siempre atraviesa períodos de crecimiento seguidos de decrecimiento, que varían su intensidad.

Siguiendo la estela del VIX, se expone a continuación el índice S&P 500, máximo exponente del mercado americano, y en cuya variabilidad el VIX encuentra su razón de ser.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.



Figura 2. Serie temporal del índice S&P 500 (2004-2018)

El S&P 500 presenta una clara tendencia alcista, que fue estrepitosamente detenida por la crisis, pero sin embargo se repuso y continuó su subida. El patrón estacional en sus picos está también presente aunque infinitamente más leve que en el VIX. Si comparamos ambos gráficos a la vez:

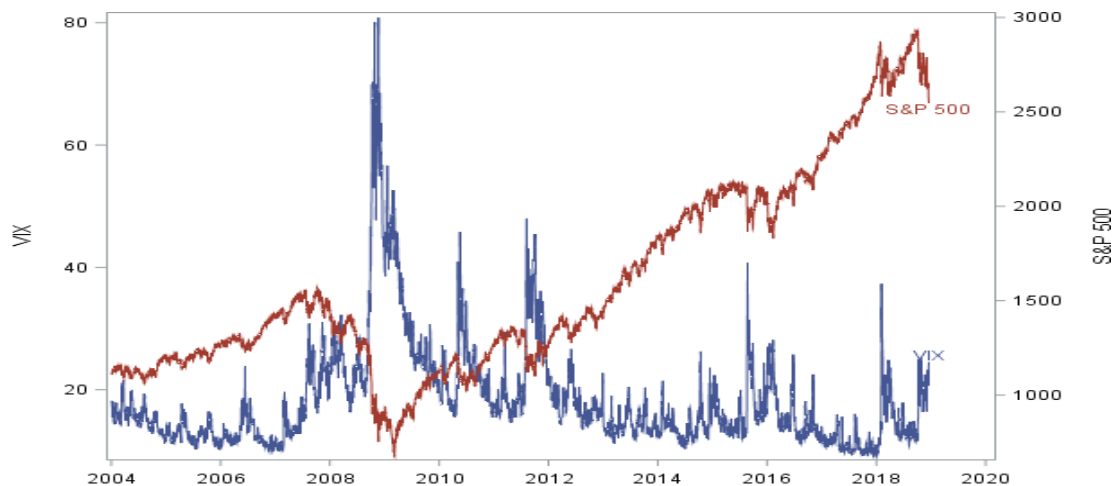


Figura 3. Índice VIX VS S&P 500 bajo el mismo eje temporal (2004-2018)

Se puede observar fehacientemente que ambos índices son inversamente proporcionales entre sí. Durante la crisis, el VIX acentúa más la situación extrema experimentada. El VIX es una gran ayuda para la interpretación del S&P 500. En primera instancia al observar el índice S&P 500 es fácil identificar su caída histórica, sin embargo al observar la serie completa, y advertir que sigue creciendo hasta máximos históricos que prácticamente doblan el valor máximo alcanzado en el punto de

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

inflexión de la crisis; para un no conocedor de los hechos, el gráfico invita a pensar que la caída sufrida no fue tan grave. Gracias al VIX, se pone de manifiesto la variación del dato y no su valor *per se*, lo que implica que una subida y bajada tan acelerada de los valores destaque mucho más, que la consecución de valores máximos pero allegados de forma más estable. De esta manera, el VIX actúa como catalizador del sentimiento de mercado, y representa un indicativo más fiable para alertar de una crisis que los índices bursátiles, ya que aísla el componente “emocional” asociado a la especulación del precio de los valores, y se basa en fundamentos matemáticos más rígidos.

Dejando el índice VIX a un lado, es menester observar la evolución de otra de las variables clave en la economía mundial y americana en particular, el dólar. El dólar es la moneda más comercializada en el mundo y es uno de los pilares de la economía estadounidense. El estado americano en su política monetaria se cuida de guardar un equilibrio que les permita ser una moneda fuerte, pero al mismo tiempo no demasiado, para que sus exportaciones sigan siendo atractivas para el resto del mundo.

En este estudio, existe un conjunto de datos en los cuales se compara el valor del dólar frente a las principales divisas mundiales. En los gráficos siguientes, se comparará el valor del dólar frente a tres grandes grupos: Europa, Asia y Latinoamérica.



Figura 4. Valor del dólar frente al Euro y la Libra (2004-2018)

Se compara el valor del dólar frente a las dos monedas más significativas de Europa, y junto al mismo dólar, del mundo. El valor del dólar es históricamente siempre inferior,

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

en este trío, en el que la libra es la moneda con mayor valor. Es interesante percibir como ambas series siguen un comportamiento muy similar solamente distanciadas por una diferencia constante que se estrechó de manera insólita durante la crisis. Es en esta crisis, donde la libra más se depreció respecto del dólar y aproximó su valor muy cercano al del euro.

Si se observa el mercado asiático, las divisas más cercanas al dólar son los dólares de Hong Kong y el Yuan chino.

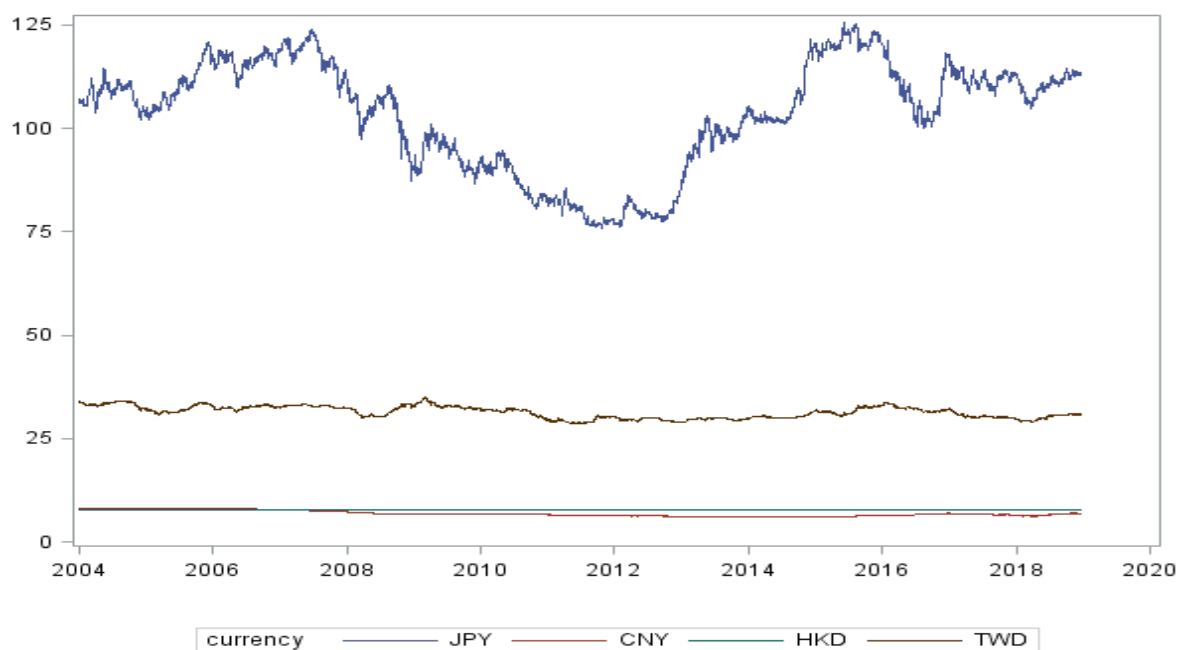


Figura 5. Valor del dólar frente al Yen, Yuan y dólares de Hong Kong y Taiwán (2004-2018)

Si se amplía la información sobre ellos:

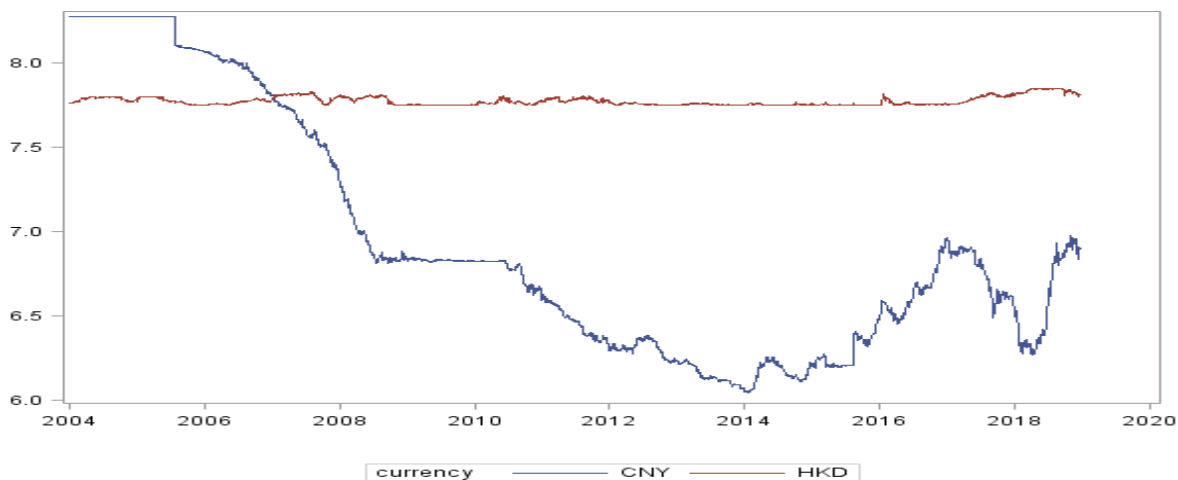


Figura 6. Valor del dólar frente al Yen, Yuan y dólares de Hong Kong y Taiwán (2004-2018)

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

A pesar de ser los más cercanos, su valor es bastante inferior al del dólar. Cabe destacar la estabilidad del dólar de Hong Kong, que a juzgar por su comportamiento y condición política estatal independiente de la china, es razonable deducir que su Banco Central haya adoptado un tipo de cambio fijo con el dólar de referencia.

Si se continúa comparando con América Latina, el dólar se postula como la divisa más fuerte.

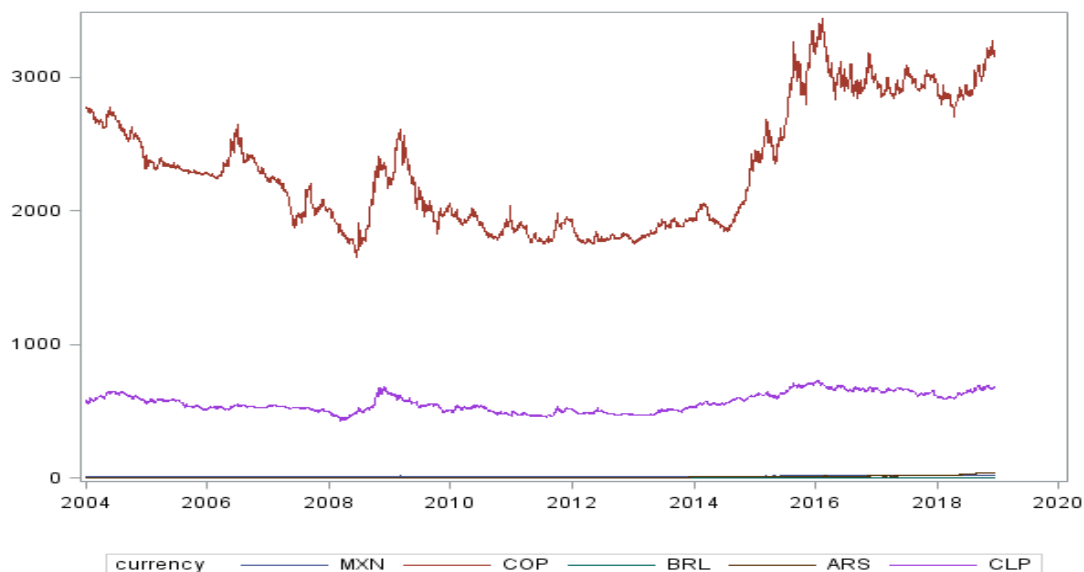


Figura 7. Valor del dólar frente al Peso Mejicano, el Peso Colombiano, el Real Brasileño y los pesos Argentinos y Chilenos (2004-2018)

Si se amplía el gráfico a las variables más cercanas al valor del dólar, obtendremos:

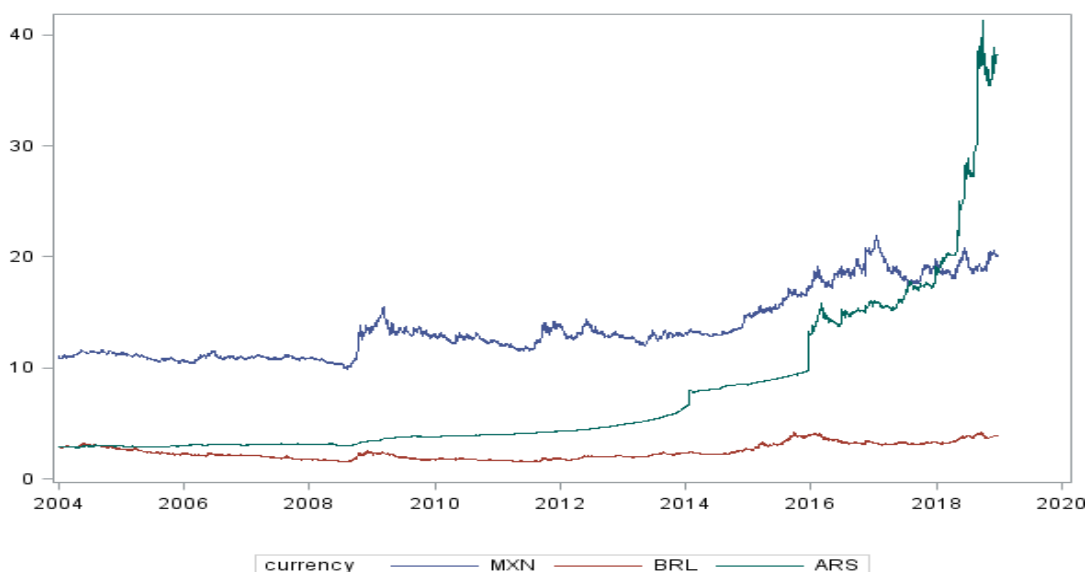


Figura 8. Valor del dólar frente al Peso Mejicano, el Real Brasileño y el Peso Argentino (2004-2018)

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

Destaca la depreciación del peso argentino, y la estabilidad del real brasileño que podría considerarse como una de las monedas más fuertes de Sudamérica.

Uno de los factores más determinantes en el mundo financiero, es el tipo de interés. Su valor incide directamente en la rentabilidad de las inversiones, y la curva de tipos en la que se comparan las expectativas corto y largoplazistas condiciona la evolución de la economía.

En primer lugar, se expone la curva de tipos para el Euribor en todos sus tramos:

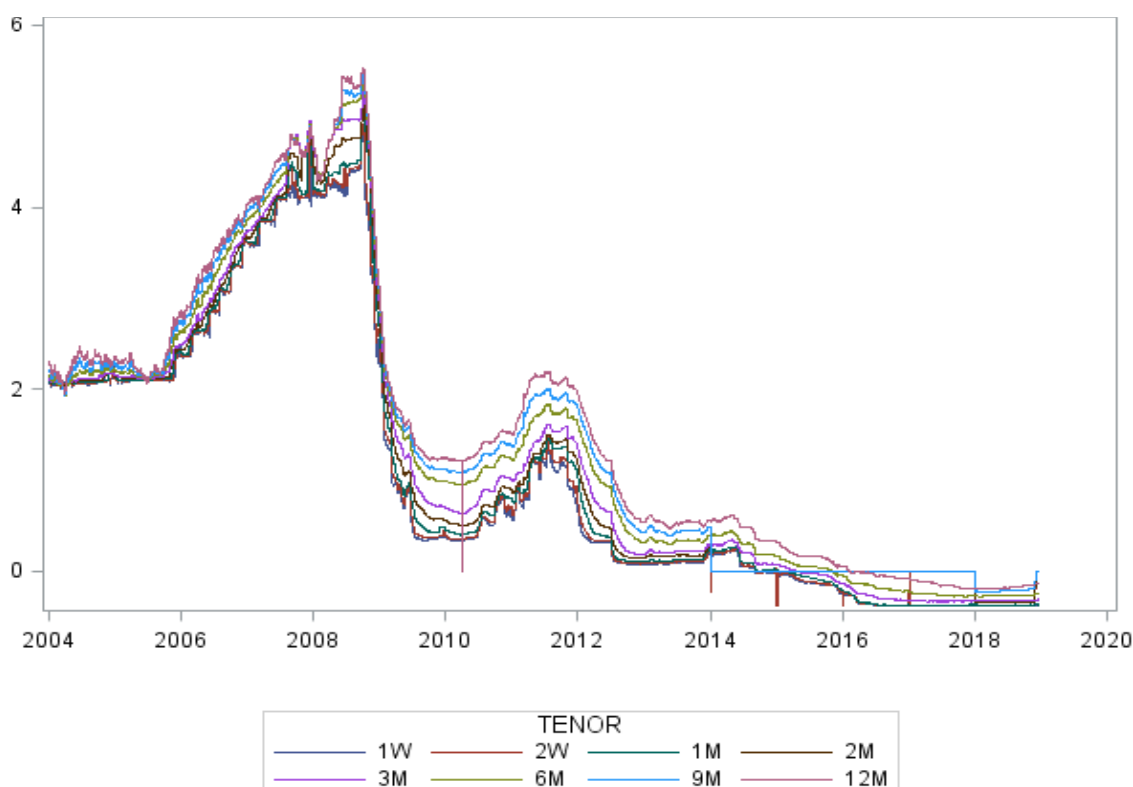


Figura 9. Curva de tipos del Euribor en todos sus plazos (2004-2018)

El comportamiento idéntico del Euribor en todos sus plazos viene condicionado por el intervalo relativamente corto de cálculo (de una semana a 1 año, corto en comparación con el americano), y de las políticas económicas del BCE que aspiran a su estabilidad. Sin embargo, no deja de ser asombroso que un índice calculado en base a datos reales de mercado se comporte con tal coordinación en sus diferentes plazos.

Su trazabilidad histórica da buena cuenta del evento de la crisis, en la cual, alcanzaron máximos absolutos, y después descensos acelerados, hasta la actual e insólita situación de tipos negativos en la que aparentemente se ha estabilizado.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

Seguidamente, se contrasta esta situación con los tipos de interés oficiales acuñados por la Reserva Federal Americana.

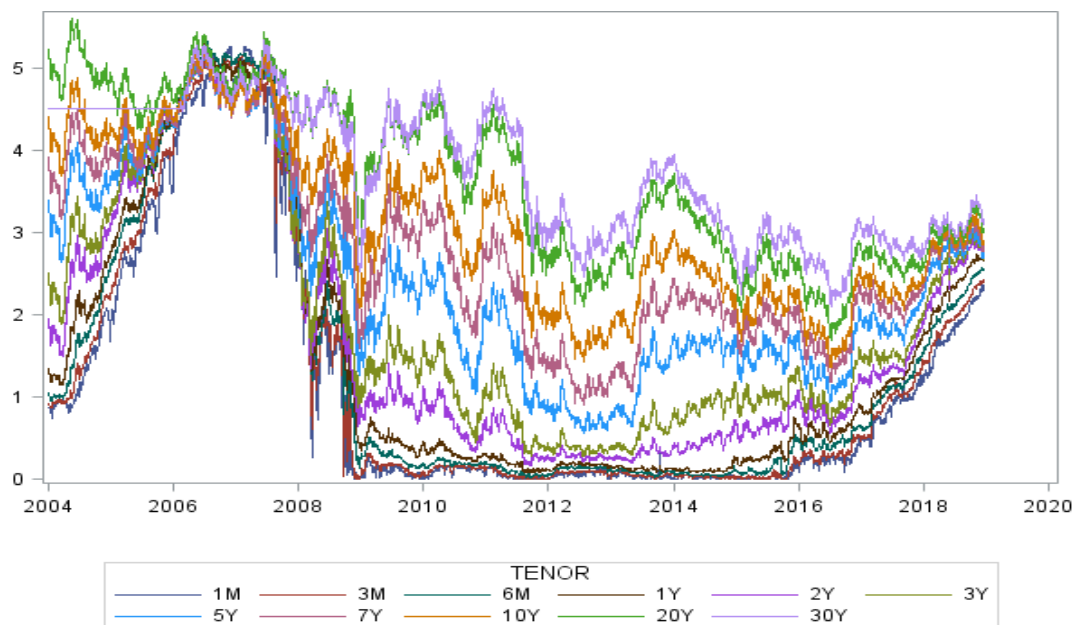


Figura 10. Curva de tipos la Reserva Federal Americana en todos sus plazos (2004-2018)

Aunque la cantidad de líneas dificulte la comprensión del gráfico, puede apreciarse un comportamiento parecido al del Euribor, aunque no de forma tan limpia, seguramente como consecuencia de la amplitud temporal. Los valores alcanzados están muy alineados a los tipos de interés europeos también.

Si se eliminan algunos plazos intermedios, y se focaliza en los plazos más extremos,



Figura 11. Curva de tipos la Reserva Federal Americana en sus plazos a 1 mes, 3 meses, 1, 10 y 30 años (2004-2018)

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

Gracias a la ampliación, puede advertirse con más claridad un suceso de vital importancia en economía, como es la inversión de la curva de tipos. Cuando el tipo a un mes (línea azul en la imagen) llega a situarse al mismo nivel o incluso por encima que el tipo a 30 años (línea morada), el mercado refleja la realidad en la cual la especulación a corto plazo es tan alta, que la rentabilidad en un mes es superior a la de 30 años. Lo que supone un indicio inequívoco de que lo que va a preceder después, es un período de recesión económica.

Por último, se presenta la evolución de la renta variable en acciones de *Brent Oil*, una de las más icónicas empresas petroleras americanas.

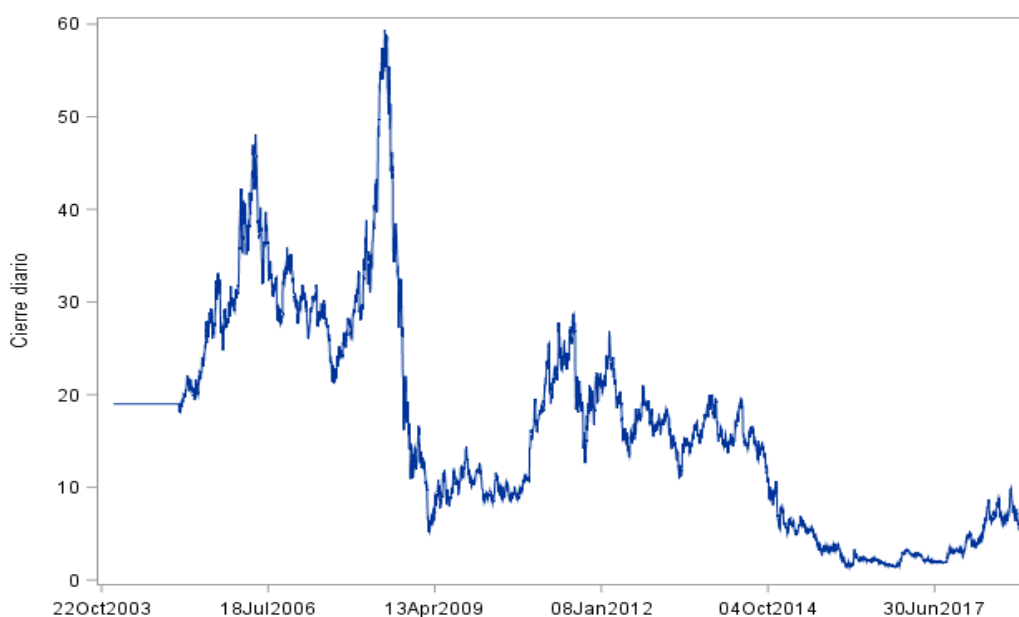


Figura 12. Serie temporal del valor de la acción de Brent Oil en USD (2004-2018)

Como puede verse, posee los mismos componentes estacionales y variabilidad que el VIX y S&P 500. Comparte con este último su mínimo absoluto en la crisis, ya que no en vano es uno de los integrantes del S&P 500.

### 8. Análisis multivariante

Durante este apartado se recurrirá a técnicas estadísticas de análisis multivariante en la búsqueda del mejor modelo posible que explique el VIX en base al conjunto de datos creado. Para ello se emplearán dos técnicas, la regresión lineal múltiple y las redes neuronales. La intención en primera instancia, es obtener buenos modelos en las

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

regresiones, y basarnos en las variables obtenidas en los mejores modelos, para intentar mejorar el resultado en las redes neuronales.

El código y el detalle técnico del análisis multivariante está disponible en los anexos 11.6.3, 11.6.4, 11.6.5 y 11.6.6.

## 8.1. Regresión lineal múltiple

### 8.1.1. Teoría

En estadística la regresión lineal o ajuste lineal es un modelo matemático usado para aproximar la relación de dependencia entre una variable dependiente  $Y$ , las variables independientes  $X_i$  y un término aleatorio  $\varepsilon$ . Este modelo puede ser expresado como:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon$$

$Y_t$ : variable dependiente, explicada o regresando.

$X_1, X_2, \dots, X_p$ : variables explicativas, independientes o regresores.

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ : parámetros, miden la influencia que las variables explicativas tienen sobre el regrediendo.

La primera forma de regresión lineal documentada fue el método de los mínimos cuadrados que fue publicada por Legendre en 1805, Gauss publicó un trabajo en donde desarrollaba de manera más profunda el método de los mínimos cuadrados, y en donde se incluía una versión del teorema de Gauss-Márkov.

Las principales ventajas de la regresión lineal son:

- El análisis de regresión lineal es una herramienta muy flexible en cuanto a la naturaleza de las variables explicativas, pues éstas pueden ser de numéricas y categóricas.
- El modelo de regresión lineal es robusto con respecto al incumplimiento del supuesto de igualdad de las matrices de covarianza entre grupos (heterocedasticidad).
- La regresión lineal no hace supuestos sobre la distribución de las variables independientes, ya que en el modelo estas no son consideradas como variables aleatorias.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- Tamaño de muestra y número de variables independientes. Una de las ventajas de la regresión lineal es que permite el uso de múltiples variables con relativamente pocos casos.

Las principales desventajas de la regresión lineal son:

- Modelos excesivamente grandes para muestras con tamaños muestrales pequeños implicarán errores estándar grandes o coeficientes estimados elevados (sobreajuste).
- La multicolinealidad entre las variables, traerá como consecuencia grandes errores estándar y coeficientes estimados anormalmente elevados.

### 8.1.2. Construcción del modelo

En esta fase, se plantearán dos modelos diferentes en pos de hallar el mejor modelo de regresión lineal múltiple. Se denominan como “Regresión aleatoria” y “Regresión tradicional”. Se trabajarán con el conjunto de datos de entrenamiento y el de validación. El código empleado puede consultarse en el anexo 13.5.3 y 13.5.4.

#### Regresión aleatoria

Debido a la naturaleza del conjunto de datos, nos encontramos ante un número mayor de variables que de observaciones, lo que puede devenir en dificultades para la resolución de algunos métodos de selección de variables, además de problemas de sobreparametrización y multicolinealidad.

Para contrarrestarlo, el método de regresión aleatoria, realizará regresiones lineales de la variable objetivo sobre un conjunto pequeño de variables seleccionado aleatoriamente. Por medio de una macro, y varios bucles dentro de ésta, se ejecutarán múltiples modelos de regresión lineal que se clasificarán según su coeficiente de determinación en los resultados de entrenamiento y validación.

La parrilla de valores para los diferentes parámetros son:

- Método de selección de variables (*Stepwise*, *Backward*, *Forward* o *ADJRSQ*).
- Probabilidad de entrada y salida de una variable (0,01 0,0001 0,000001). El p-valor de entrada es un parámetro sin sentido en el método de selección de variables *Backward*, al igual que lo es el p-valor de salida en el método de selección de variables *Forward*, y lo son ambos p-valores en el método *ADJRSQ*.
- Tamaño del conjunto de variables explicativas (25 y 50).

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- Número de conjuntos de datos diferentes seleccionados aleatoriamente (10.000).

Así pues, la macro generará un total de 240.00 modelos diferentes, fruto de la combinación de todos los parámetros especificados anteriormente (10.000 conjuntos de datos diferentes \* dos tamaños diferentes\*cuatro métodos de selección diferentes\*tres p-valores diferentes).

### Regresión tradicional

A diferencia de la regresión aleatoria, para contrastar sus resultados, se realizará sobre la totalidad del conjunto de datos, variando únicamente los parámetros:

- Método de selección de variables (*Stepwise* y *Forward*). Los métodos de selección de variable *Backward* y *ADJRSQ* no pueden ejecutarse con un conjunto de datos con más variables que observaciones.
- Probabilidad de entrada y salida de una variable (0.01 0.001 0.0001 0.00001 0.000001 0.0000001 0.00000001). El p-valor de salida es un parámetro sin sentido en el método de selección de *Forward*.

Lo que genera un total de 14 modelos (dos métodos de selección\*siete probabilidades diferentes de entrada y salida).

### **8.1.3. Resultados**

Al presentar los resultados es necesario hacer un inciso. Tal y como se reflejó en el apartado de metodología, al llegar a este punto existe una bifurcación del camino. Las dos variantes de regresión recién expuestas se ejecutaron sobre el conjunto de datos que incluye información del mismo día, y con el conjunto de datos cuya información es como mínimo un día anterior a la variable objetivo.

Los resultados del conjunto de datos con variables del mismo día son meramente académicos y su aplicación no es otra que informativa. Por el contrario, los resultados del conjunto de datos con variables anteriores al día de la variable objetivo, servirán para determinar las variables susceptibles de integrar el modelo ganador en las redes neuronales, y son de por sí, firmes candidatos a ser el modelo predictivo utilizado en la creación del mecanismo de negociación automática.

### Resultados utilizando variables del mismo día

Como era de suponer, estos resultados son sustancialmente mejores a los resultados de variables de anteriores días.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

- Regresión aleatoria:

	REG	RSQ_VALIDACION		REG	_RSQ_
1	2285 FORWARD num_var 50 p_valor 0.000001	0.9866991065	1	2285 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01	0.9967526629
2	2285 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.000001	0.9866991065	2	2285 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.000001	0.9967526629
3	2285 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.000001	0.9862953382	3	2285 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.0001	0.9967526629
4	2285 FORWARD num_var 50 p_valor 0.0001	0.9856082621	4	2285 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.01	0.9967274889
5	2285 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.0001	0.9856082621	5	2285 FORWARD num_var 50 p_valor 0.01	0.9967160389
6	2285 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.01	0.985120182	6	2285 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.01	0.9967159626
7	2285 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.01	0.9850901381	7	2285 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.0001	0.996697212
8	1559 FORWARD num_var 50 p_valor 0.01	0.9849395669	8	2285 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.0001	0.9966180922
9	1559 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.01	0.9849395669	9	2285 FORWARD num_var 50 p_valor 0.0001	0.9966180922
10	2285 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.000001	0.9848950459	10	2285 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.000001	0.9966156014
11	2285 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.0001	0.9848950459	11	2285 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.000001	0.9965473622
12	2285 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01	0.9848950459	12	2285 FORWARD num_var 50 p_valor 0.000001	0.9965473622
13	2285 FORWARD num_var 50 p_valor 0.01	0.9848499899	13	1559 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01	0.9962281825
14	1559 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.0001	0.9846200377	14	1559 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.0001	0.9962281825
15	2285 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.0001	0.9846162397	15	1559 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.000001	0.9962281825
16	1559 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.000001	0.9845934401	16	1559 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.01	0.996164062
17	1559 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.000001	0.9843524015	17	1559 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.01	0.9961446925
18	1559 FORWARD num_var 50 p_valor 0.0001	0.9843524015	18	1559 FORWARD num_var 50 p_valor 0.01	0.9961446925
19	1559 FORWARD num_var 50 p_valor 0.0001	0.9843524015	19	1559 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.0001	0.9961091611
20	1559 FORWARD num_var 50 p_valor 0.000001	0.9843524015	20	1559 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.000001	0.9960739374
21	9237 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.0001	0.9842673845	21	1559 FORWARD num_var 50 p_valor 0.000001	0.9959921095
22	9237 FORWARD num_var 50 p_valor 0.01	0.9840228285	22	1559 FORWARD num_var 50 p_valor 0.0001	0.9959921095
23	9237 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.01	0.9840228285	23	1559 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.0001	0.9959921095
24	9237 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.000001	0.9839522467	24	1559 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.000001	0.9959921095
25	6217 BACKWARD num_var 25 p_valor 0.0001	0.9838150635	25	9237 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01	0.9958736796
26	6217 STEPWISE num_var 25 p_valor 0.0001	0.9838150635	26	9237 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.0001	0.9958736796
27	6217 FORWARD num_var 25 p_valor 0.000001	0.9838150635	27	9237 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.000001	0.9958736796
28	6217 FORWARD num_var 25 p_valor 0.0001	0.9838150635	28	9237 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.01	0.9957967496
29	6217 STEPWISE num_var 25 p_valor 0.000001	0.9838150635	29	9237 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.0001	0.995778021
			30	6217 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01	0.9957626923

Figuras 13-14. Mejores modelos de regresión aleatoria con vars del mismo día según  $R^2$  de entrenamiento y  $R^2$  de validación.

- Regresión tradicional:

	REG	_RSQ_		REG	RSQ_VALIDACION
1	STEPWISE p_valor 0.01	0.9994974207	1	STEPWISE p_valor 0.0001	0.9947259722
2	FORWARD p_valor 0.01	0.9994627789	2	FORWARD p_valor 0.00000001	0.9944019618
3	FORWARD p_valor 0.001	0.9994128188	3	FORWARD p_valor 0.000001	0.9940221353
4	FORWARD p_valor 0.0001	0.999402786	4	STEPWISE p_valor 0.000001	0.9940221353
5	STEPWISE p_valor 0.001	0.9992558635	5	FORWARD p_valor 0.0000001	0.9940221353
6	STEPWISE p_valor 0.0001	0.999082521	6	STEPWISE p_valor 0.00001	0.9939340674
7	STEPWISE p_valor 0.0000001	0.99896981	7	FORWARD p_valor 0.00001	0.9939296454
8	STEPWISE p_valor 0.00000001	0.99896981	8	STEPWISE p_valor 0.00000001	0.9938626287
9	FORWARD p_valor 0.00001	0.998643234	9	STEPWISE p_valor 0.0000001	0.9938626287
10	STEPWISE p_valor 0.00001	0.9986432236	10	FORWARD p_valor 0.01	0.9497201895
11	FORWARD p_valor 0.0000001	0.9986156325	11	FORWARD p_valor 0.0001	0.949716359
12	FORWARD p_valor 0.000001	0.9986156325	12	FORWARD p_valor 0.001	0.9421230573
13	STEPWISE p_valor 0.000001	0.9986156325	13	STEPWISE p_valor 0.01	0.939440509
14	FORWARD p_valor 0.00000001	0.9985951736	14	STEPWISE p_valor 0.001	0.9343647487

Figuras 15-16. Mejores modelos de regresión tradicional con vars del mismo día según  $R^2$  de entrenamiento y  $R^2$  de validación.

El criterio para determinar el modelo ganador es aquel cuyo  $R^2$  de validación sea mayor. Atendiendo a este criterio, el modelo ganador es el denominado como

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

“STEPWISE p\_valor 0.0001”. Fruto de la “regresión tradicional”, con todo el conjunto de datos de entrenamiento, el método de selección STEPWISE y un p-valor de entrada y salida de 0,0001.

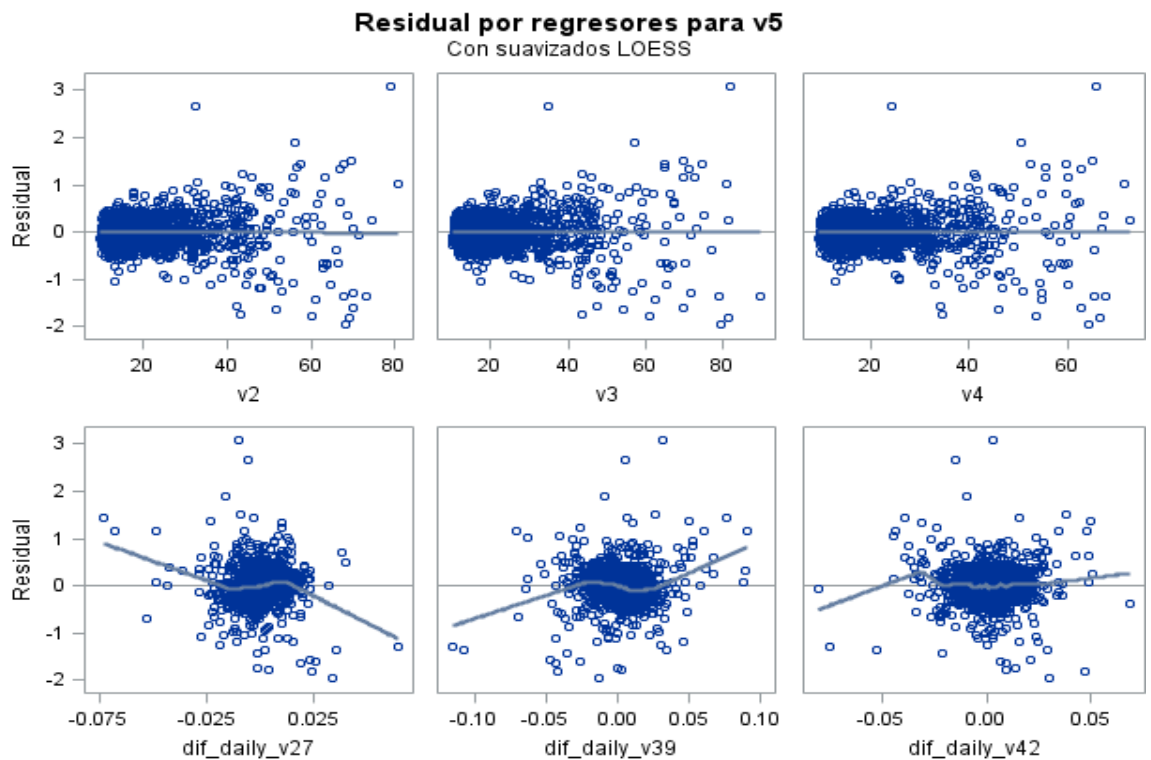
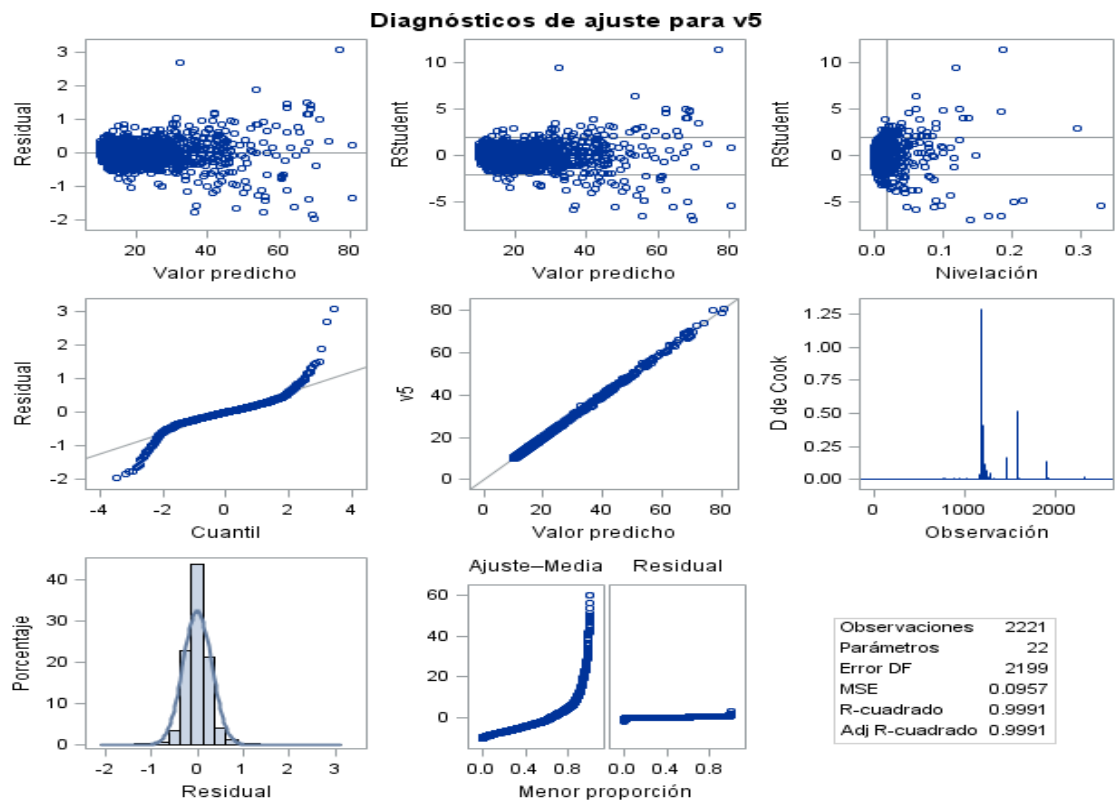
Este modelo ha conseguido un  $R^2$  de validación de 0,9947259722 y un  $R^2$  de entrenamiento de 0,999082521. Son valores muy halagüeños, aunque cabe recordar que su aplicación carece de sentido lucrativo. Las salidas del modelo:

Análisis de la varianza					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	21	229191	10914	114028	<.0001
Error	2199	210.47128	0.09571		
Total corregido	2220	229402			

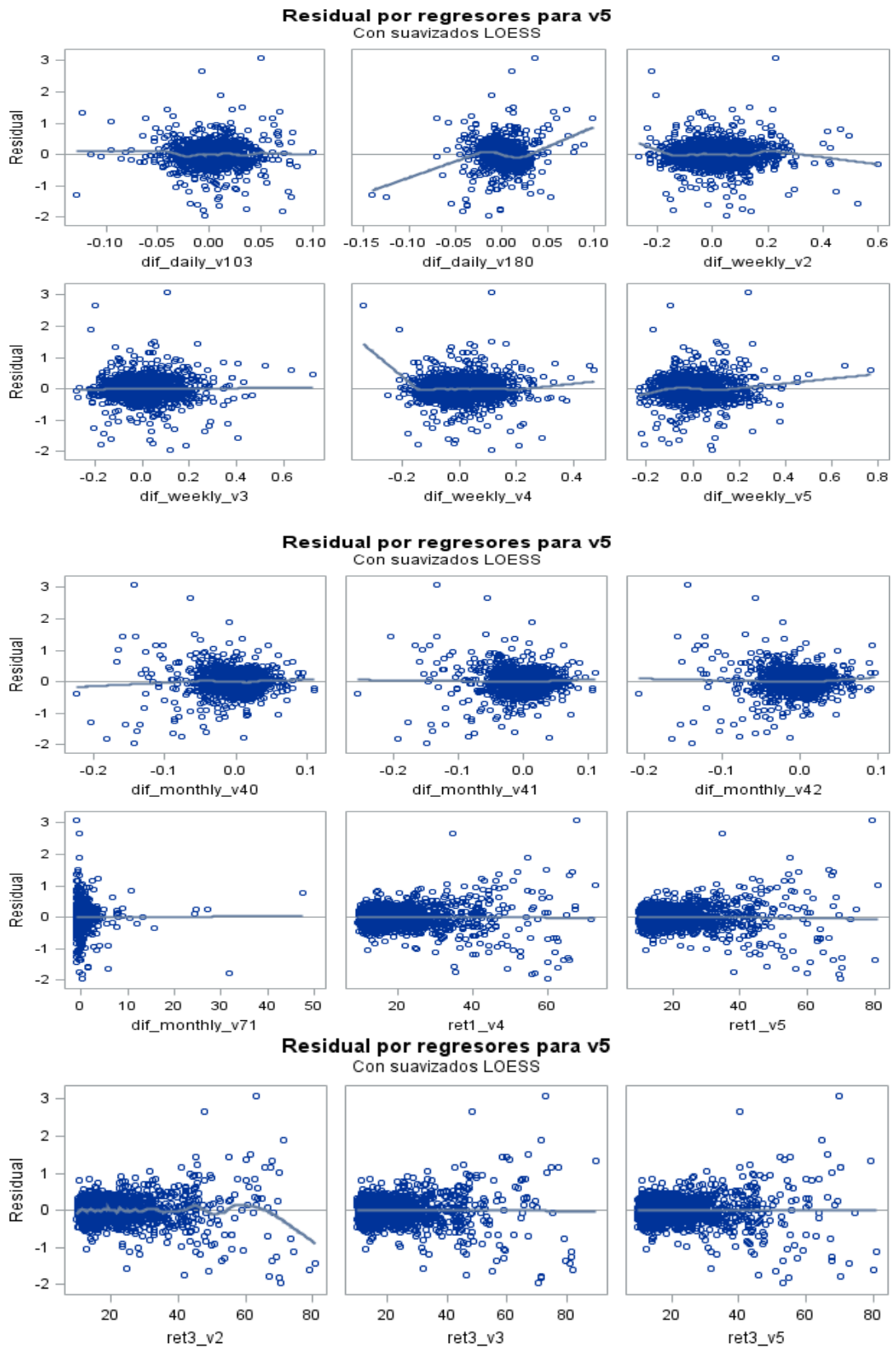
Variable	Estimador del parámetro	Error estándar	Tipo II SS	F-Valor	Pr > F
Intercept	0.02234	0.01750	0.15596	1.63	0.2019
v2	-0.29562	0.01670	29.98773	313.31	<.0001
v3	0.60034	0.01211	235.21902	2457.56	<.0001
v4	0.59910	0.01611	132.41861	1383.51	<.0001
dif_daily_v27	-8.40129	1.16900	4.94347	51.65	<.0001
dif_daily_v39	29.31347	3.23669	7.85052	82.02	<.0001
dif_daily_v42	-10.26070	1.60572	3.90827	40.83	<.0001
dif_daily_v103	-2.55556	0.55439	2.03380	21.25	<.0001
dif_daily_v180	20.27633	2.88476	4.72853	49.40	<.0001
dif_weekly_v2	6.33964	0.37879	26.81000	280.11	<.0001
dif_weekly_v3	-11.10808	0.37221	85.24730	890.66	<.0001
dif_weekly_v4	-9.23631	0.43359	43.43190	453.78	<.0001
dif_weekly_v5	15.24798	0.29569	254.52632	2659.29	<.0001
dif_monthly_v40	-49.77921	3.57312	18.57672	194.09	<.0001
dif_monthly_v41	22.41595	2.01649	11.82736	123.57	<.0001
dif_monthly_v42	28.21618	2.68121	10.59990	110.75	<.0001
dif_monthly_v71	-0.01550	0.00354	1.83722	19.20	<.0001
ret1_v4	-0.06850	0.01153	3.37628	35.28	<.0001
ret1_v5	0.11827	0.01226	8.90438	93.03	<.0001
ret3_v2	0.03083	0.00744	1.64306	17.17	<.0001
ret3_v3	-0.06596	0.00987	4.27030	44.62	<.0001
ret3_v5	0.07785	0.00772	9.72229	101.58	<.0001

Figuras 17-18. Salidas del PROC REG del modelo ganador de regresión lineal con vars del mismo día.

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.



# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.



Figuras 19-23. Gráficos de los residuos del modelo ganador de regresión lineal con vars del mismo día.

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

## Resultados utilizando variables de días anteriores

En este caso, los resultados serán presumiblemente peores al conjunto de datos que utiliza variables del mismo día. Sin embargo este modelo puede tener aplicaciones prácticas.

- Regresión aleatoria:

	REG	_RSQ_
1	2813 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01	0.9685517361
2	2813 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.000001	0.9685517361
3	2813 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.0001	0.9685517361
4	8792 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01	0.9683166935
5	8792 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.000001	0.9683166935
6	8792 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.0001	0.9683166935
7	8365 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.000001	0.9682587487
8	8365 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.0001	0.9682587487
9	8365 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01	0.9682587487
10	4531 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01	0.9681871341
11	4531 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.000001	0.9681871341
12	4531 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.0001	0.9681871341
13	2813 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.01	0.9681010025
14	3738 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.0001	0.9680446657
15	3738 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.000001	0.9680446657
16	3738 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01	0.9680446657
17	3510 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.0001	0.9680286489
18	3510 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01	0.9680286489
19	3510 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.000001	0.9680286489
20	9954 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.0001	0.9680144953
21	9954 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.000001	0.9680144953
22	9954 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01	0.9680144953
23	5382 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.0001	0.9679383024
24	5382 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01	0.9679383024
25	5382 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.000001	0.9679383024
26	3405 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.0001	0.9679197912
27	3405 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01	0.9679197912
28	3405 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.000001	0.9679197912
29	2657 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01	0.9679027576
30	2657 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.000001	0.9679027576

	REG	RSQ_VALIDACION
1	3650 BACKWARD num_var 25 p_valor 0.0001	0.8971411783
2	812 FORWARD num_var 50 p_valor 0.01	0.8970366587
3	812 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.01	0.8970366587
4	6920 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.000001	0.8969923035
5	3738 ADJRSQ num_var 25 p_valor 0.000001	0.8969742455
6	3738 ADJRSQ num_var 25 p_valor 0.0001	0.8969742455
7	3738 ADJRSQ num_var 25 p_valor 0.01	0.8969742455
8	8693 FORWARD num_var 50 p_valor 0.01	0.8968963606
9	8693 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.0001	0.8968963606
10	8693 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.01	0.8968963606
11	4619 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.000001	0.8968799982
12	2724 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.01	0.8966978267
13	3738 BACKWARD num_var 25 p_valor 0.01	0.8966539648
14	3738 STEPWISE num_var 25 p_valor 0.01	0.8966539648
15	3738 FORWARD num_var 25 p_valor 0.01	0.8966539648
16	123 FORWARD num_var 50 p_valor 0.01	0.8965720099
17	2610 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.0001	0.8965653825
18	2610 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.000001	0.8965653825
19	2610 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.01	0.8964539136
20	2610 FORWARD num_var 25 p_valor 0.01	0.8964514672
21	2610 FORWARD num_var 50 p_valor 0.0001	0.8964514672
22	2610 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.0001	0.8964514672
23	2610 FORWARD num_var 25 p_valor 0.0001	0.8964514672
24	2610 STEPWISE num_var 25 p_valor 0.0001	0.8964514672
25	2610 STEPWISE num_var 25 p_valor 0.01	0.8964514672
26	6620 STEPWISE num_var 50 p_valor 0.0001	0.896439571
27	6620 FORWARD num_var 50 p_valor 0.0001	0.896439571
28	8607 BACKWARD num_var 25 p_valor 0.01	0.8964143694
29	8607 BACKWARD num_var 25 p_valor 0.000001	0.8964143694

Figuras 24-25. Mejores modelos de regresión aleatoria con vars de días anteriores según R<sup>2</sup> de entrenamiento y validación.

- Regresión tradicional:

	REG	_RSQ_
1	STEPWISE p_valor 0.01	0.9733540084
2	FORWARD p_valor 0.01	0.9724472949
3	STEPWISE p_valor 0.001	0.9712021961
4	FORWARD p_valor 0.001	0.9712021961
5	STEPWISE p_valor 0.0001	0.9710362251
6	FORWARD p_valor 0.0001	0.9710362251
7	STEPWISE p_valor 0.00001	0.9700588013
8	FORWARD p_valor 0.00001	0.9700588013
9	STEPWISE p_valor 0.000001	0.9679192037
10	FORWARD p_valor 0.000001	0.9679192037
11	STEPWISE p_valor 0.0000001	0.967537328
12	FORWARD p_valor 0.0000001	0.967537328
13	STEPWISE p_valor 0.00000001	0.967073785
14	FORWARD p_valor 0.00000001	0.967073785

	REG	RSQ_VALIDACION
1	STEPWISE p_valor 0.00000001	0.8915746814
2	FORWARD p_valor 0.00000001	0.8915746814
3	FORWARD p_valor 0.00000001	0.8870046006
4	STEPWISE p_valor 0.00000001	0.8870046006
5	STEPWISE p_valor 0.0000001	0.8854663862
6	FORWARD p_valor 0.0000001	0.8854663862
7	STEPWISE p_valor 0.000001	0.8803787181
8	FORWARD p_valor 0.000001	0.8803787181
9	FORWARD p_valor 0.001	0.8749699633
10	STEPWISE p_valor 0.001	0.8749699633
11	FORWARD p_valor 0.0001	0.874726969
12	STEPWISE p_valor 0.0001	0.874726969
13	FORWARD p_valor 0.01	0.8658995047
14	STEPWISE p_valor 0.01	0.8220505371

Figuras 26-27. Modelos de regresión tradicional con vars de días anteriores según R<sup>2</sup> de entrenamiento y validación.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

El modelo ganador es el denominado como “3650 BACKWARD num\_var 25 p\_valor 0.0001”. Que consta de la selección aleatoria de un conjunto de datos de 25 variables seleccionado aleatoriamente en la iteración 3.650 del bucle, con el método de selección BACKWARD y un p-valor de salida de 0,0001. En esta ocasión, la “regresión aleatoria” ha ganado a la “regresión tradicional”.

Optimización del modelo ganador:

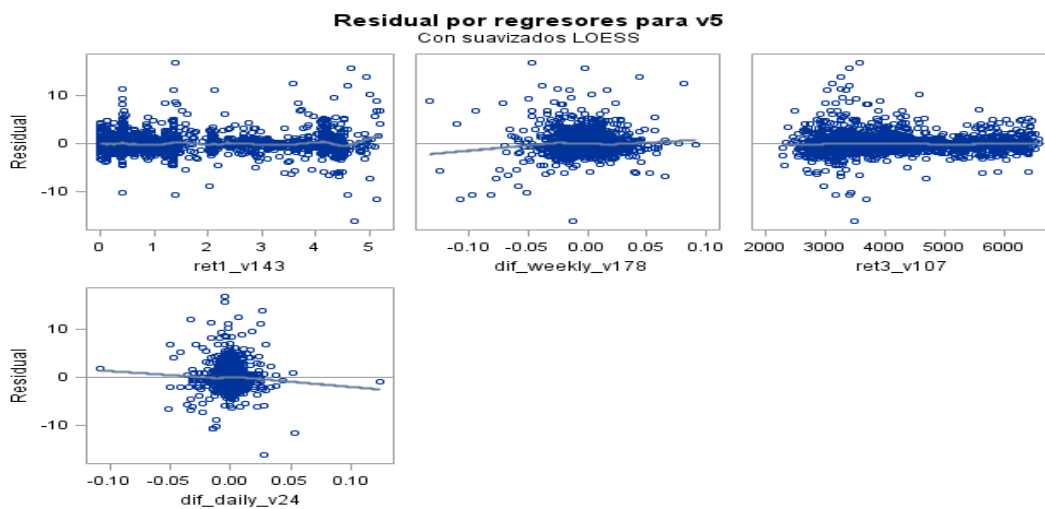
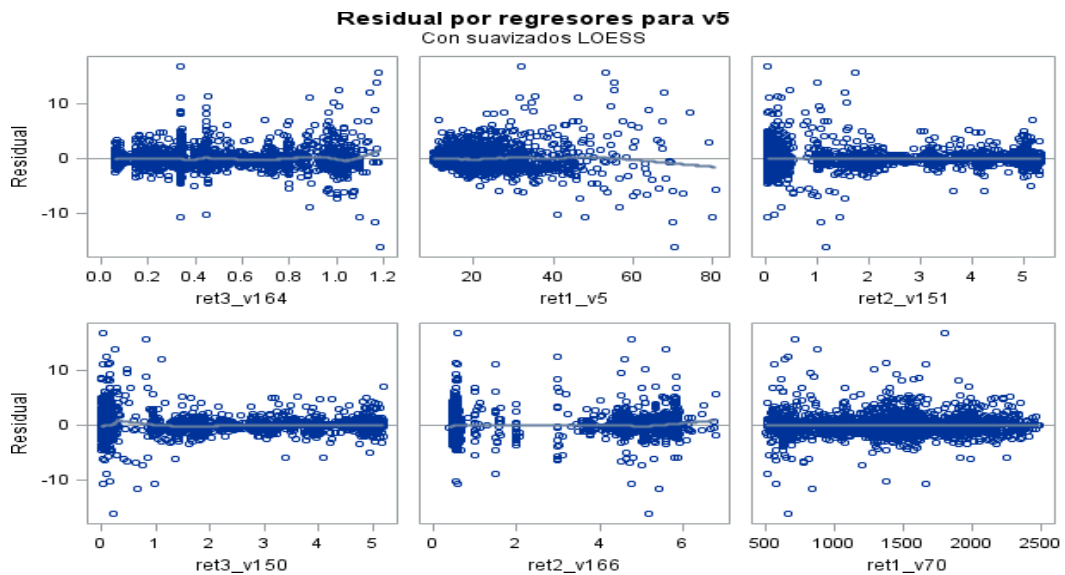
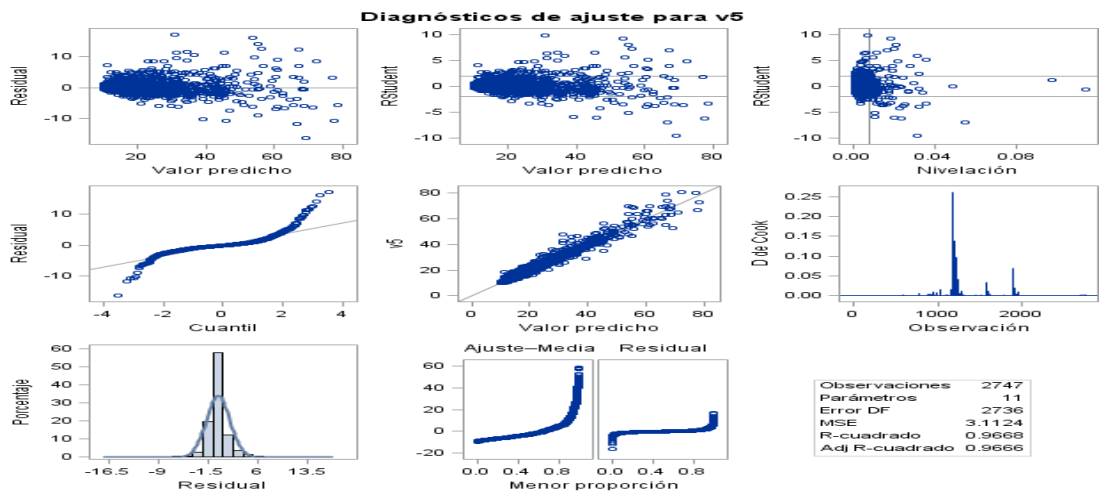
Si se intenta mejorar aún más el resultado, se tomarán los tres modelos ganadores en la parrilla de R<sup>2</sup> de validación de regresión aleatoria. Observando las variables que lo integran, es posible probar un modelo que contenga todas estas variables (12 en total) para intentar mejorar el R<sup>2</sup>.

El R<sup>2</sup> de validación del modelo optimizado mejora de 0,8971411783 a 0,8989391959. A continuación. En adelante, se denominará “modelo optimizado de regresión aleatoria”. A continuación, las salidas del modelo:

Número en el modelo	R-cuadrado ajustado	R-cuadrado	Variables en el modelo
10	0.9666	0.9668	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 dif_daily_v24
11	0.9666	0.9668	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162 dif_daily_v24
10	0.9666	0.9667	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v162 dif_daily_v24
9	0.9666	0.9667	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 dif_daily_v24
10	0.9666	0.9667	ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162 dif_daily_v24
9	0.9666	0.9667	ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v162 dif_daily_v24
8	0.9666	0.9667	ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 dif_daily_v24
9	0.9666	0.9667	ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 dif_daily_v24
10	0.9665	0.9667	ret3_v164 ret1_v5 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162 dif_daily_v24
9	0.9665	0.9666	ret3_v164 ret1_v5 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 dif_daily_v24
9	0.9665	0.9666	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 dif_daily_v24
9	0.9665	0.9666	ret3_v164 ret1_v5 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v162 dif_daily_v24
9	0.9665	0.9666	ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162 dif_daily_v24
10	0.9665	0.9666	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162 dif_daily_v24
10	0.9665	0.9666	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162 dif_daily_v24
9	0.9665	0.9666	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 dif_daily_v24
9	0.9665	0.9666	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107
9	0.9665	0.9666	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v162 dif_daily_v24
8	0.9665	0.9666	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 dif_daily_v24
8	0.9665	0.9666	ret3_v164 ret1_v5 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 dif_daily_v24
10	0.9665	0.9666	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162
9	0.9665	0.9666	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v162
9	0.9665	0.9666	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162 dif_daily_v24
8	0.9665	0.9666	ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 dif_daily_v24
8	0.9665	0.9666	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178
9	0.9665	0.9666	ret1_v5 ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162 dif_daily_v24
8	0.9665	0.9666	ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 dif_daily_v24

Figura 28. Salidas del PROC REG del modelo ganador de regresión lineal con vars de días anteriores.

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.



Figuras 29-31. Gráficos de los residuos del modelo ganador de regresión lineal con vars de días anteriores.

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

## 8.2. Redes neuronales

### 8.2.1. Teoría

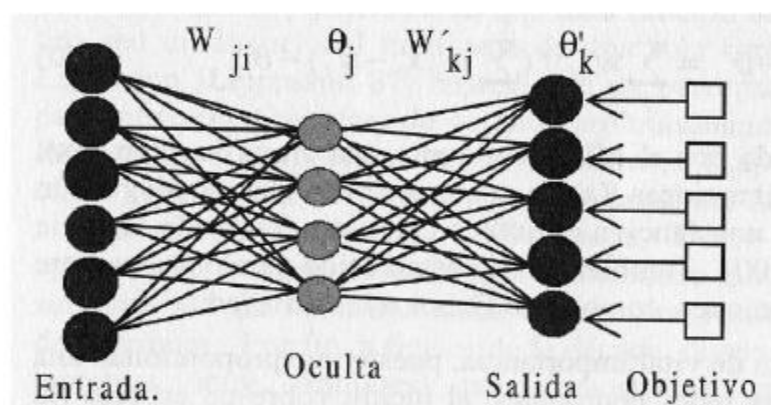
Las Redes Neuronales constituyen una herramienta muy potente de análisis, modelización y predicción. Se rigen por la filosofía general de obtener modelos coherentes con la realidad observada, de tal modo que sean los datos los que determinen el comportamiento de la red, ya sea a través de la determinación de sus estructuras o de sus parámetros internos. Esta técnica forma parte de los métodos no paramétricos de análisis de datos.

Una red neuronal consiste en un conjunto de unidades de procesamiento, conocidas como nodos o unidades, las cuales están conectadas entre sí. La conectividad de una red neuronal viene dada en términos de una arquitectura, la cual es un grafo con conexiones entre los nodos. Aquellos nodos que no tienen conexiones de entrada se denominan nodos de entrada y los nodos de los que no sale ninguna conexión se denominan nodos de salida. El resto de nodos se denominan nodos ocultos. Los nodos de computación de una red son los nodos de salida y los nodos ocultos. Todos los nodos que se encuentran a la misma distancia en el grafo de los nodos de entrada forman una capa. Cada nodo  $i$ -ésimo de una red neuronal está caracterizado por un valor numérico denominado valor o estado de activación  $y_i$  asociado a la unidad. Existe una función de salida o de activación  $f_i$  que transforma el estado actual de activación en una señal de salida  $f_i(y_i)$ .

La composición de la activación de la unidad y la función de salida se denomina función de transferencia de la unidad. Las funciones de activación son en general diferentes según se trate de unidades de la capa de salida o de unidades pertenecientes a la capa oculta.

Una red neuronal (NN) es un sistema de cálculo hecho con una cantidad de elementos de procesado interconectados. Las dos componentes primarias de una red neuronal son los elementos de procesado (los nodos equivalentes a las neuronas biológicas) y sus interconexiones.

La estructura de una red neuronal Perceptrón Multicapa como ya hemos comentado, se dispone en capas: de datos de entrada, de nodos ocultos y de datos de salida:



## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

La capa de entrada se conecta con la capa oculta ( $\theta_j$ ) mediante una función de combinación, donde los pesos  $w_{ij}$  (pesos sinápticos) hacen el papel de parámetros a estimar. Sobre esta función se aplica una función de activación, que pueden ser entre otras: función sigmoidea, función gaussiana, función tangente hiperbólica, etc. De los nodos ocultos a los nodos de salida ( $\theta'_k$ ) se aplica el mismo procedimiento sobre las nuevas variables provenientes de los nodos ocultos: una función de combinación y ocasionalmente una de activación. El valor final de la función de activación en cada nodo oculto es el valor de salida en ese nodo.

Las Redes Neuronales tienen numerosas ventajas frente a otras técnicas de predicción, describiendo las más destacables a continuación:

El aprendizaje del modelo no necesita ser programado, las redes neuronales son capaces de extraer sus propias reglas a partir de ejemplos reales mediante la adaptación de la matriz de ponderaciones. Estas reglas quedan almacenadas y extendidas a lo largo de las conexiones.

Otra ventaja es que son tolerantes al ruido, es decir, son capaces de abstraer las características esenciales de los datos y así generalizar de forma correcta aún en presencia de datos distorsionados o incompletos.

No son paramétricas, no necesitan hacer supuestos de la forma funcional de la función que van a aproximar, ni sobre la distribución de las variables independientes.

Además no tienen por qué ser lineales, permiten realizar a través de sus funciones de activación todo tipo de transformaciones de los datos, lo cual supone una gran ventaja frente a los modelos tradicionales de regresión lineal, logística o discriminante.

Pero tiene dos grandísimas limitaciones, por un lado la imposibilidad de determinar cómo se procesa internamente la información y por otro, que no existe aún una metodología clara y rigurosa para determinar el número de capas ocultas o el número de nodos que tiene que tener cada capa, lo que hace difícil encontrar el modelo óptimo a la primera, se trata más bien de un proceso de ensayo-error del investigador.

Los software estadísticos solventan o intentan solventar este último inconveniente sugiriendo posibles modelos de Redes Neuronales o probando múltiples de ellos, proporcionando el óptimo.

### 8.2.2. Construcción del modelo

Se procurará mejorar los resultados de la regresión. El código empleado puede consultarse en el anexo 13.5.5. A través de una macro que contenga varios bucles, se probarán las diferentes configuraciones de los parámetros:

- Set de variables: se contemplan nueve sets diferentes de variables resultantes de los mejores modelos de la fase de regresión:

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- Set perteneciente a los parámetros del modelo de regresión aleatoria '3650 BACKWARD num\_var 25 p\_valor 0.0001' con 4 variables (1º en la clasificación de  $R^2$  de validación).
- Set perteneciente a los parámetros del modelo de regresión aleatoria '6920 BACKWARD num\_var 50 p\_valor 0.000001' con 4 variables (2º en la clasificación de  $R^2$  de validación).
- Set perteneciente a los parámetros del modelo de regresión aleatoria '812 FORWARD num\_var 50 p\_valor 0.01' con 5 variables (3º en la clasificación de  $R^2$  de validación).
- Set perteneciente a la combinación de variables únicas de los tres sets anteriores con 12 variables (modelo ganador de las regresiones lineales con variables de días anteriores).
- Set perteneciente a los parámetros del modelo de regresión aleatoria '2813 ADJRSQ num\_var 50 p\_valor 0.01' con 27 variables (1º en la clasificación de  $R^2$  de entrenamieto).
- Set perteneciente a la combinación de variables únicas de todos los parámetros de los modelos resultantes de la regresión tradicional con 36 variables.
- Set perteneciente a la primera mitad de la combinación de variables únicas de todos los parámetros de los modelos resultantes de la regresión aleatoria con un  $R^2$  de validación igual o superior a 0,896 con 35 variables.
- Set perteneciente a la segunda mitad de la combinación de variables únicas de todos los parámetros de los modelos resultantes de la regresión aleatoria con un  $R^2$  de validación igual o superior a 0,896 con 36 variables.
- Set perteneciente a la combinación de variables únicas de todos los parámetros de los modelos resultantes de la regresión aleatoria con un  $R^2$  de validación igual o superior a 0,896 con 71 variables.
- Número de nodos: como reza la teoría de las redes neuronales, no existe una fórmula exacta para determinar el número óptimo de nodos, pero es posible ajustar diferentes opciones por medio del software estadístico. En este caso, se comenzará probando con la siguiente matriz fila (1 1 1 3 5 10 10 10 20), en la cual cada posición se asocia a cada set de variable. Es decir, que en los tres primeros set de variables se probará con un solo nodo, en el cuarto set de variables, se probará de uno a tres, así sucesivamente hasta el último set de variables, donde se probarán nodos de uno a veinte.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

Esta metodología se debe a que el número de nodos no debe superar a la mitad del número de variables, al menos en primera instancia. Si se obtuvieran resultados muy positivos con más números de nodos, se estudiaría el aumentar el número de nodos para esos casos.

- Función de activación (arc log tanh): se alternará con las funciones arcoseno, logarítmica y tangente de activación.

Por lo tanto, se calcularán 183 modelos diferentes de redes neuronales ( $1*3+1*3+1*3+3*3+5*3+10*3+10*3+10*3+20*3$ ).

### 8.2.3. Resultados

Para determinar el mejor modelo de redes, se observará el  $R^2$  de entrenamiento y de validación, y el modelo que más lo maximice se considerará el óptimo.

RED	RSQ_TRAINING	RED	RSQ_VALIDATION
1 SET6 arc Num_Nodos 7	0.9711789979	1 SET4 tanh Num_Nodos 2	0.8987550629
2 SET6 tanh Num_Nodos 10	0.9711789979	2 SET4 arc Num_Nodos 2	0.8987550629
3 SET6 arc Num_Nodos 4	0.9711789979	3 SET4 tanh Num_Nodos 1	0.8987550629
4 SET6 log Num_Nodos 3	0.9711789979	4 SET4 log Num_Nodos 2	0.8987550629
5 SET6 log Num_Nodos 9	0.9711789979	5 SET4 arc Num_Nodos 1	0.8987550629
6 SET6 tanh Num_Nodos 9	0.9711789979	6 SET4 arc Num_Nodos 3	0.8987550629
7 SET6 arc Num_Nodos 6	0.9711789979	7 SET4 tanh Num_Nodos 3	0.8987550629
8 SET6 log Num_Nodos 6	0.9711789979	8 SET4 log Num_Nodos 1	0.8987550629
9 SET6 arc Num_Nodos 5	0.9711789979	9 SET4 log Num_Nodos 3	0.8987550629
10 SET6 log Num_Nodos 10	0.9711789979	10 SET1 log Num_Nodos 1	0.8971411783
11 SET6 tanh Num_Nodos 2	0.9711789979	11 SET1 arc Num_Nodos 1	0.8971411783
12 SET6 tanh Num_Nodos 4	0.9711789979	12 SET1 tanh Num_Nodos 1	0.8971411783
13 SET6 log Num_Nodos 8	0.9711789979	13 SET3 arc Num_Nodos 1	0.8970366587
14 SET6 log Num_Nodos 1	0.9711789979	14 SET3 tanh Num_Nodos 1	0.8970366587
15 SET6 log Num_Nodos 4	0.9711789979	15 SET3 log Num_Nodos 1	0.8970366587
16 SET6 tanh Num_Nodos 1	0.9711789979	16 SET2 log Num_Nodos 1	0.8969923035
17 SET6 tanh Num_Nodos 7	0.9711789979	17 SET2 arc Num_Nodos 1	0.8969923035
18 SET6 arc Num_Nodos 10	0.9711789979	18 SET2 tanh Num_Nodos 1	0.8969923035
19 SET6 arc Num_Nodos 1	0.9711789979	19 SET7 arc Num_Nodos 4	0.8953235955
20 SET6 log Num_Nodos 2	0.9711789979	20 SET7 log Num_Nodos 4	0.8953235955
21 SET6 arc Num_Nodos 2	0.9711789979	21 SET7 log Num_Nodos 5	0.8953235955
22 SET6 tanh Num_Nodos 6	0.9711789979	22 SET7 arc Num_Nodos 8	0.8953235955
23 SET6 tanh Num_Nodos 5	0.9711789979	23 SET7 log Num_Nodos 8	0.8953235955
24 SET6 log Num_Nodos 7	0.9711789979	24 SET7 arc Num_Nodos 10	0.8953235955
25 SET6 arc Num_Nodos 8	0.9711789979	25 SET7 tanh Num_Nodos 4	0.8953235955
26 SET6 log Num_Nodos 5	0.9711789979	26 SET7 arc Num_Nodos 5	0.8953235955
27 SET6 arc Num_Nodos 3	0.9711789979	27 SET7 tanh Num_Nodos 2	0.8953235955
28 SET6 tanh Num_Nodos 8	0.9711789979	28 SET7 tanh Num_Nodos 6	0.8953235955
29 SET6 arc Num_Nodos 9	0.9711789979	29 SET7 tanh Num_Nodos 3	0.8953235955
30 SET6 tanh Num_Nodos 3	0.9711789979	30 SET7 log Num_Nodos 9	0.8953235955
31 SET9 log Num_Nodos 4	0.9692994084	31 SET7 arc Num_Nodos 9	0.8953235955
32 SET9 log Num_Nodos 1	0.9692994084	32 SET7 arc Num_Nodos 1	0.8953235955
33 SET9 log Num_Nodos 10	0.9692994084	33 SET7 tanh Num_Nodos 1	0.8953235955
34 SET9 arc Num_Nodos 1	0.9692994084	34 SET7 arc Num_Nodos 7	0.8953235955
35 SET9 log Num_Nodos 8	0.9692994084	35 SET7 tanh Num_Nodos 10	0.8953235955
36 SET9 log Num_Nodos 18	0.9692994084	36 SET7 log Num_Nodos 7	0.8953235955
37 SET9 tanh Num_Nodos 14	0.9692994084	37 SET7 log Num_Nodos 1	0.8953235955
38 SET9 tanh Num_Nodos 5	0.9692994084	38 SET7 arc Num_Nodos 2	0.8953235955
39 SET9 log Num_Nodos 14	0.9692994084	39 SET7 log Num_Nodos 6	0.8953235955
40 SET9 log Num_Nodos 9	0.9692994084	40 SET7 tanh Num_Nodos 8	0.8953235955
41 SET9 tanh Num_Nodos 10	0.9692994084	41 SET7 arc Num_Nodos 6	0.8953235955
42 SET9 tanh Num_Nodos 18	0.9692994084	42 SET7 log Num_Nodos 2	0.8953235955
43 SET9 tanh Num_Nodos 9	0.9692994084	43 SET7 log Num_Nodos 3	0.8953235955
44 SET9 arc Num_Nodos 5	0.9692994084	44 SET7 log Num_Nodos 10	0.8953235955
45 SET9 tanh Num_Nodos 6	0.9692994084	45 SET7 tanh Num_Nodos 9	0.8953235955
46 SET9 log Num_Nodos 3	0.9692994084	46 SET7 tanh Num_Nodos 5	0.8953235955
47 SET9 tanh Num_Nodos 12	0.9692994084	47 SET7 tanh Num_Nodos 7	0.8953235955
48 SET9 log Num_Nodos 2	0.9692994084	48 SET7 arc Num_Nodos 3	0.8953235955
49 SET9 tanh Num_Nodos 20	0.9692994084	49 SET9 log Num_Nodos 14	0.8713576919

Figura 32. Mejores modelos de redes neuronales según el  $R^2$ .

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

Para determinar el modelo ganador, se utilizará el  $R^2$  de validación por criterio de homogeneidad con la regresión. El modelo ganador es el set 4 de variables, independientemente de su número de nodos o su función de activación, ya que como puede observarse, su  $R^2$  no ha sufrido alteración alguna con la variación de estos parámetros.

### 8.3. Comparación de redes con regresión:

Para la comparación del mejor modelo de redes con el mejor de regresión, se recuerda que en regresión, el modelo a batir, era el resultante de la combinación de los sets de variables de los tres mejores modelos arrojados por el método de "regresión aleatoria" según el  $R^2$  de validación. Se denominó a este modelo como "modelo optimizado de la regresión aleatoria". El  $R^2$  de validación del "modelo optimizado de la regresión aleatoria" es de 0,8989391959, por lo tanto ligeramente mayor que el de redes (0,8987550629).

Debido a la justa diferencia en validación, y al hecho de que el mejor modelo de redes poseía un  $R^2$  de entrenamiento de 0,9667630136 ligeramente superior al "modelo optimizado de la regresión aleatoria" de 0,9667567198, la elección es tan difícil, que para desempatar, se acudirán a los datos de Test, y se observará como puntúan ambos modelos.

En Test, "modelo optimizado de la regresión aleatoria" ha conseguido un  $R^2$  de 0,9667567198, mientras que el mejor modelo de redes se desploma hasta 0,7800839389. Unido al hecho de que a igualdad de resultados, la sencillez de la regresión debido a un menor número de parámetros en el modelo, es otro criterio de desempate a su favor. Por tanto, la regresión lineal le ha ganado la batalla a las redes neuronales en esta ocasión. Esto puede ser debido a una de estas dos cuestiones:

- 1) El modelo esté ya muy ajustado con la red lineal, esto se aprecia al advertir que el rendimiento en la red neuronal es muy similar al de la lineal y muy similar variando el número de nodos ocultos de la red.
- 2) Los datos de entrenamiento no sean tan similares a los de validación. En este caso un modelo más "bruto", como el lineal puede resultar mejor que una red neuronal. Se nota en que la red neuronal con un nodo oculto será igual a la lineal, la de dos peor, lo de tres peor y así sucesivamente.

Parece obvio que en este caso se debe a la primera cuestión, ya que el número de nodos apenas ha alterado el  $R^2$  en absoluto. En consecuencia, en el intento de

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

optimizar tanto las redes, finalmente se ha hallado un modelo ad hoc, útil para el pasado pero con una pobre o nula capacidad predictiva.

### 8.4. Modelo final ganador

Finalmente el modelo ganador entre las redes y los distintos tipos de regresiones, es el modelo apelado como “optimizado de regresión aleatoria”, que integra la combinación de variables únicas de los tres primeros modelos ganadores de la “regresión aleatoria”. Ha logrado un  $R^2$  de validación de 0,8989391959; un  $R^2$  de entrenamiento de 0,9667567198 y un error cuadrático medio de 1,8321855732.

A continuación, la ecuación del modelo ganador, con un término independiente y diez regresores:

$$\begin{aligned} V_5 = & -2,1302637657 - 0,6840079423ret_{3V_{164}} - 0,9323798646ret_{1V_5} \\ & - 1,1086595496ret_{2V_{151}} + 1,156638686ret_{3V_{150}} + 0,418348938ret_{2V_{166}} \\ & + 0,000488743ret_{1V_{70}} - 0,6757599332ret_{1V_{143}} - 11,701178267dif_{weeklyV_{178}} \\ & + 0,000146668ret_{3V_{107}} + 15,40667111dif_{dailyV_{24}} \end{aligned}$$

Donde:

$V_5$  : VIX\_Close, contiene el cierre del índice VIX. Esta es la variable objetivo, ya que en las series económicas, el dato más significativo es el de cierre de mercado.

$ret_{3V_{164}}$  : retardo tres (el valor de la variable tres días atrás) del LIBOR\_JPY\_INTEREST\_RATE\_6M, el tipo de interés del Banco Central de Japón para el tenor seis meses.

$ret_{1V_5}$  : retardo uno (el valor de la variable el día anterior) del VIX\_Close.

$ret_{2V_{151}}$  : retardo dos (el valor de la variable dos días atrás) del US\_FEDERAL\_RESERVE\_IR\_H15\_6M, el tipo de interés de la Reserva Federal Americana para el tenor seis meses.

$ret_{3V_{150}}$  : retardo tres (el valor de la variable tres días atrás) del US\_FEDERAL\_RESERVE\_IR\_H15\_3M, el tipo de interés de la Reserva Federal Americana para el tenor tres meses.

$ret_{2V_{166}}$  : retardo dos (el valor de la variable dos días atrás) del LIBOR\_GBP\_INTEREST\_RATE\_OVERNIGH, el tipo de interés para la libra esterlina británica para el mercado nocturno.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

$ret_{1V_{70}}$  : retardo uno (el valor de la variable el día anterior) del RTSI\$\_CLOSE\_USD, el cierre del índice RTS cotizado en Moscú.

$ret_{1V_{143}}$  : retardo uno (el valor de la variable el día anterior) del euribor\_IR\_1M\_CLOSE, el índice Euribor en el tenor de un mes.

$dif_{weeklyV_{178}}$  : variación porcentual del día anterior respecto a la media de la última semana del SPXFAST\_INDEX\_CLOSE, cierre del ETF del S&P 500.

$ret_{3V_{107}}$  : retardo tres (el valor de la variable tres días atrás) del SX5E\_CLOSE\_EURUSD, el cierre del índice EURO STOXX 50, expresado según su contravalor en dólares.

$dif_{dailyV_{24}}$  : variación porcentual del día anterior respecto a su día anterior (ayer respecto de anteayer) del USDKRW\_Curncy, tipo de cambio del dólar estadounidense frente al won surcoreano.

Es interesante observar la distinta índole de las variables que conforman el modelo. Como era de esperar, el cierre del día anterior del propio índice VIX forma parte del modelo, ya que la información del propio índice el día anterior es tremendamente útil como punto de partida para predecir el día siguiente. El tipo de variable más utilizada en el modelo, es el tipo de interés a corto plazo, se encuentra el japonés a tres meses, el americano a tres y seis meses, el europeo a un mes, y el británico intradía nocturno. Es lógico contemplar que el interés americano aparece dos veces, puesto que el VIX mide la volatilidad del mercado americano y el resto de tipos aparece una vez. También es fácil intuir que al calcular la volatilidad diaria, los tipos con mayor peso sean a corto plazo y no a largo. En cualquier caso, cabe recordar que al haber sido escogidas las variables aleatoriamente, y juzgar su combinación final, es posible que haya tipos en otros plazos que sean igual o más útiles para predecir el VIX, y no se hayan tenido en cuenta. El tipo de interés debería ayudar en teoría a indicar la volatilidad, ya que expresa el “precio del dinero” en el futuro, y el VIX, la expectativa del mercado americano.

El siguiente tipo de variables que encontramos, es el de índices de mercado, se tiene la variación del día anterior del ETF del S&P 500, lo cual parece muy lógico, dado que el VIX calcula la volatilidad del S&P 500 en base a la variación del precio de unas determinadas opciones sobre el S&P 500. Las otras dos variables de índices bursátiles corresponden al Euro Stoxx 50 y al RTSI, índices bursátiles de referencia en las potencias económicas europea y rusa. Al igual que ocurre en los tipos, debido al carácter aleatorio de la selección, no quiere decir que no haya otros índices bursátiles

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

susceptibles de entrar en el modelo, sin embargo sí es seguro que los que han entrado, son útiles para predecir el VIX.

Por último, la única variable de divisa que ha entrado en el modelo es el tipo de cambio del dólar con el won surcoreano. Es curioso que el contravalor del dólar frente a las principales divisas como euro, libra, yen no haya sido tan relevante como esta divisa asiática. Aunque por otro lado, son innegables los estrechos lazos históricos (fruto de la alianza militar) que devinieron en económicos, entre Corea del Sur y EEUU. Estos vínculos propiciaron que el tipo de cambio de la moneda coreana estuviera fijado en función del dólar hasta la aprobación de su libre fluctuación en 1997 por el Fondo Monetario Internacional. Se echa en falta también las variables de corte sociodemográfico, ya que ninguna ha entrado en el modelo.

Es importante tener presente que aunque el modelo recoja estos regresores, ello no implica que exista una relación directa entre las variables y el VIX, sino que lo más probable, es que distintas correlaciones o confluencias entre ellos determinen su relación lineal.

### **9. Aplicación del modelo predictivo ganador en una negociación automática**

Una vez hallado el modelo óptimo para predecir el VIX con un día de antelación basándose en información de mercado, se pretende asignarle una utilidad práctica. Con este fin, el último apartado de trabajo de campo de este estudio, se centrará en la creación de una estrategia de negociación automática que utilice el modelo predictivo como uno de sus parámetros en la ejecución de compra y venta de instrumentos financieros cuyo subyacente sea el VIX.

Para la simulación del comportamiento de la estrategia con datos reales de mercado, se empleará el conjunto de datos *Test* (véase el apartado de *Partición de datos* dentro de 5. *Construcción de la base de datos*).

Este apartado se dividirá en:

- Selección del instrumento financiero
- Definición de la estrategia de negociación
- Parametrización del mecanismo
- Resultados de la ejecución

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

## 9.1. Selección del instrumento financiero

En primer lugar, se ha de escoger sobre que instrumento financiero relacionado con el VIX se desea erigir una estrategia de negociación automática. A continuación se muestran algunas posibles elecciones:

- Futuros y opciones del VIX emitidos por la CBOE. La propia CBOE (casa emisora del VIX), emite también instrumentos derivados cuyo subyacente es el VIX, como futuros y opciones con vencimientos semanales y mensuales, que son accesibles en la propia plataforma de negociación de la CBOE. Su nacimiento se remonta a la misma fecha de actualización del cálculo del índice, 2004.
- ETN's<sup>4</sup> de iPath sobre futuros a corto plazo del VIX: notas emitidas por Barclays que ofrecen una exposición a los futuros a corto plazo del VIX. Se comercializaron por primera vez el 19 de enero de 2018. El comportamiento del precio de este activo es directamente proporcional al del índice VIX.
- ETF de PROSHARES ULTRA VIX sobre futuros a corto plazo del VIX: Proshare es una división del grupo ProFunds que gestiona varios fondos de inversión y mueve un volumen de 29 billones de dólares con sus activos. Este producto en concreto pretende otorgar al inversor el doble del comportamiento diario del índice de los futuros del VIX a corto plazo. Existen otros productos alternativos de la misma casa que pretenden replicar directamente el índice en vez de doblarlo. Al igual que el iPath, su comportamiento es directamente proporcional al del índice VIX.
- ETF del S&P 500: existen varios ETFs en el mercado que replican el comportamiento del índice S&P 500. Es una posible estrategia, el invertir directamente en el S&P 500, basándose en la volatilidad esperada del índice VIX.

Existen más opciones de inversión basadas en el VIX además de las citadas anteriormente, sin embargo se ha creído conveniente, destacar éstas como las más interesantes. Finalmente, a la hora de escoger el instrumento, se ha desdeñado invertir en el S&P 500 dado que como ha quedado reflejado, especialmente en la parte de descriptivos, al expresar la volatilidad, el VIX es un perfecto indicador del grado de

---

<sup>4</sup> ETN: Un exchange-traded note (ETN por sus siglas en inglés), o nota negociable en el mercado es un activo financiero que replica el precio de una acción, una materia prima o cualquier otro parámetro en un periodo de tiempo acordado. A diferencia de los ETF, los ETN no tienen la obligación de mantener en cartera el subyacente que compone el índice, sino que solo se compromete a pagar al comprador en función del precio de mercado de ese subyacente.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

cambio que va a presentar el S&P 500 en el futuro, sin embargo no es un indicador de la tendencia del S&P500, y por tanto no es aconsejable basar una estrategia de negociación en función del incremento o decremento del S&P 500 según el VIX.

Así pues, es preferible adoptar una estrategia que se base en la negociación de instrumentos ligados directamente al propio índice VIX. El segundo criterio para escoger el instrumento es la practicidad. Es por eso que se opta por un instrumento que sea accesible para el pequeño y mediano inversor. Debido a ello, se ha descartado las opciones y futuros del VIX emitidos por la CBOE, dado que son instrumentos derivados muy complejos cuya negociación es más propia de inversores profesionales, y con un nivel de apalancamiento muy amplio.

Finalmente se decanta por el ETF y el ETN, por la liquidez y la fácil accesibilidad del activo. Estas ETF y ETN a pesar de suponer un instrumento muy arriesgado y basado en cálculos complejos, (como son el replicar el comportamiento del índice del precio de los futuros del VIX a corto plazo); funcionan a efectos prácticos como una acción. Al ser básicamente fondos de inversión, se cotizan sus participaciones que son como acciones de renta variable, en las principales plataformas de negociación de renta variable, al alcance de minoristas y profesionales. Esto lo convierte en una alternativa líquida, ya que podemos comprar y vender títulos diariamente durante el horario de mercado, enviar órdenes de compra y de venta condicionadas a una cantidad, e incluso en algunas plataformas modernas, implementar estrategias directamente en ellas. Además los costos en forma de cánones y comisiones por parte de la herramienta, son asumibles para un nivel aceptable de inversión, y permiten obtener rentabilidad admisible a partir de un capital relativamente pequeño, acorde a un inversor minorista.

Para conocer un poco más acerca del comportamiento de los activos seleccionados, se acude en primer lugar a la serie temporal del VIX en el año 2018 (cabe recordar que el conjunto de datos utilizado será el de *Test*, que contenía la información de mercado de 2018).

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

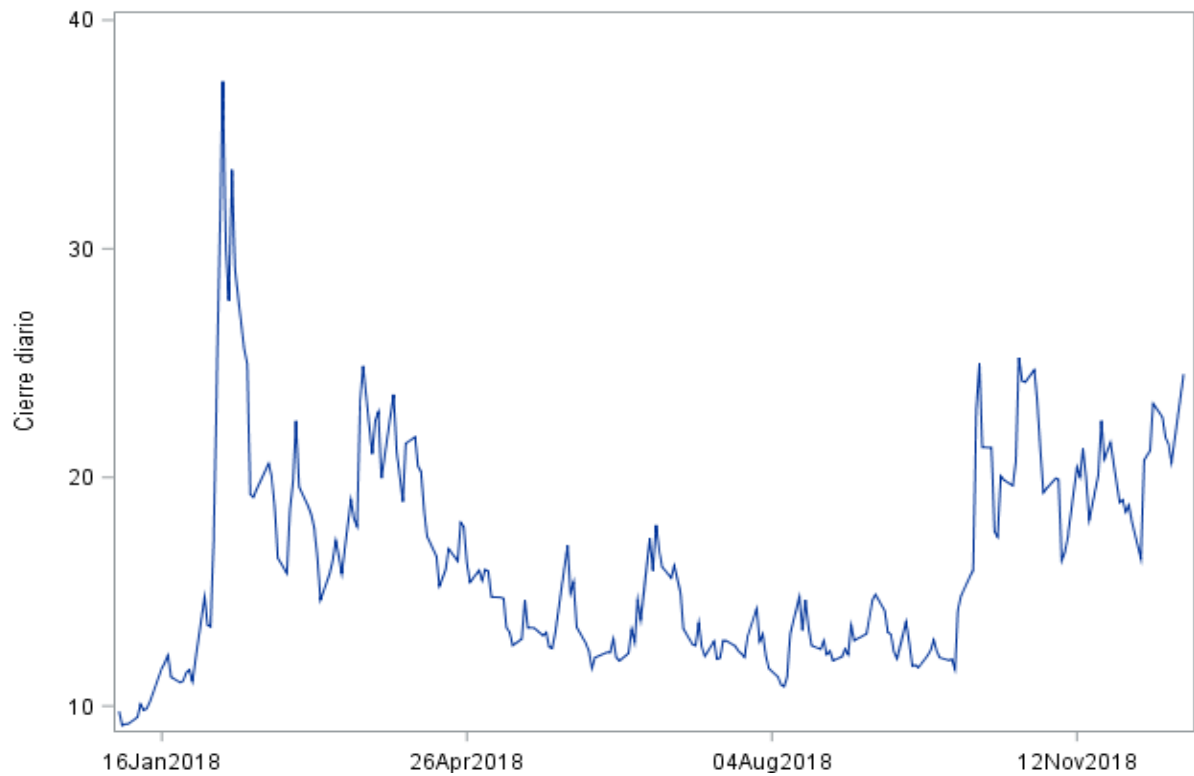


Figura 33. El índice VIX durante el 2018.

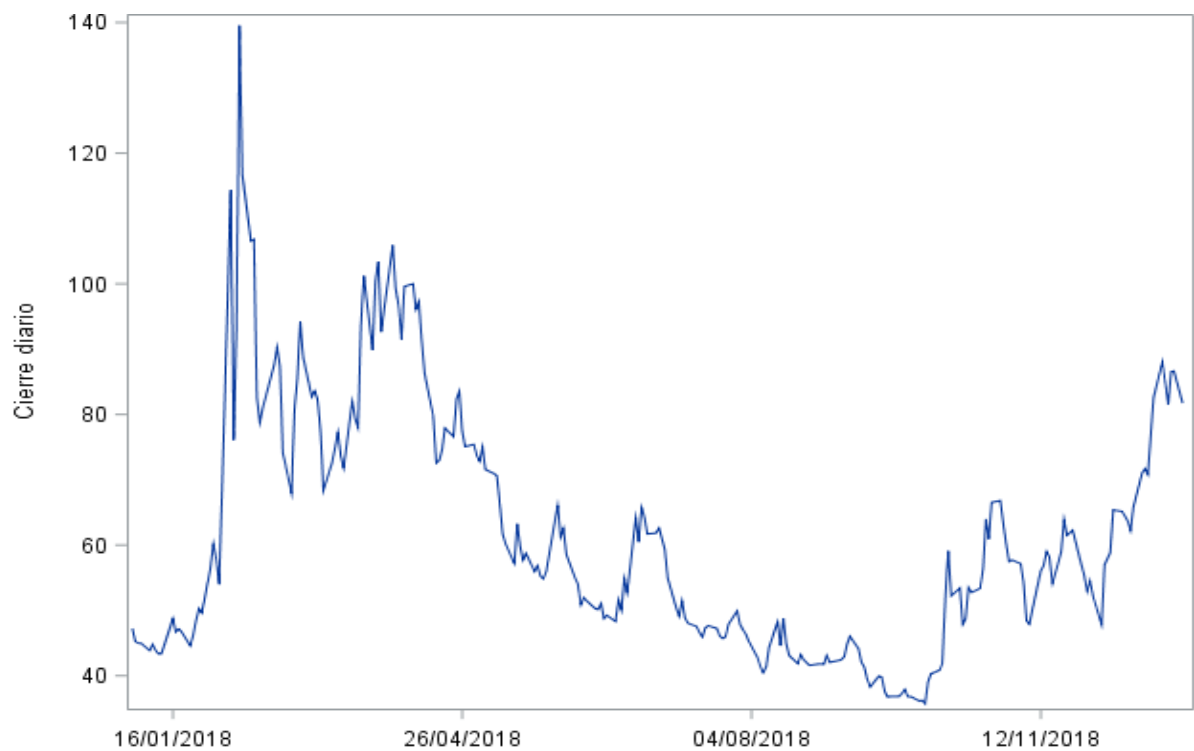


Figura 34. El cierre diario de la cotización en USD del ETF ProShares Ultra VIX (2018).

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

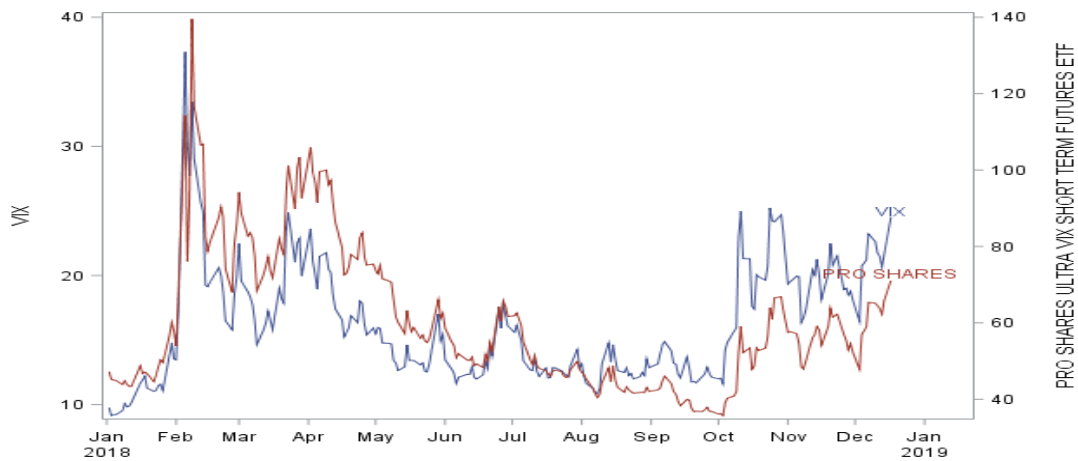


Figura 35. El VIX contra el PROSHARES ULTRA VIX SHORT TERM FUTURES ETF (2018).

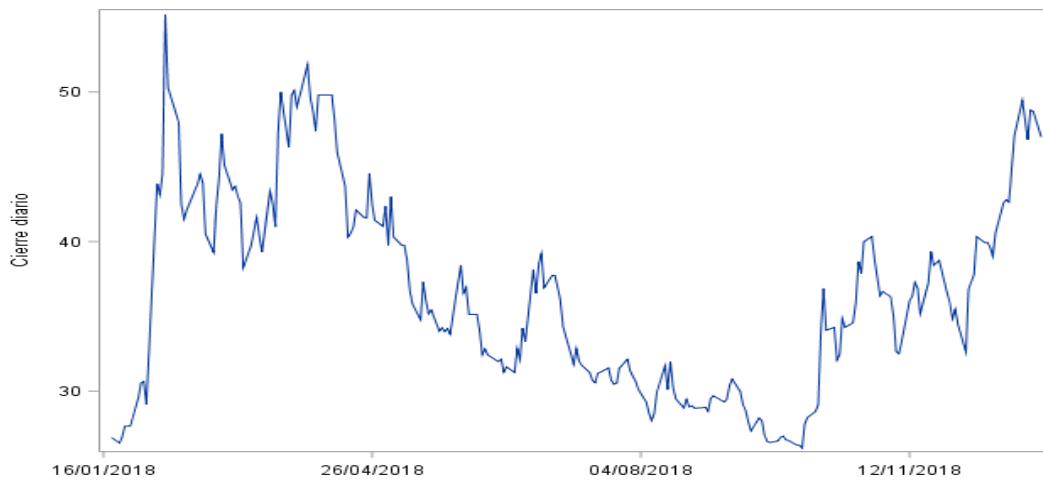


Figura 36. Cotización diaria del iPath VIX Short-term Futures ETN en USD (2018).

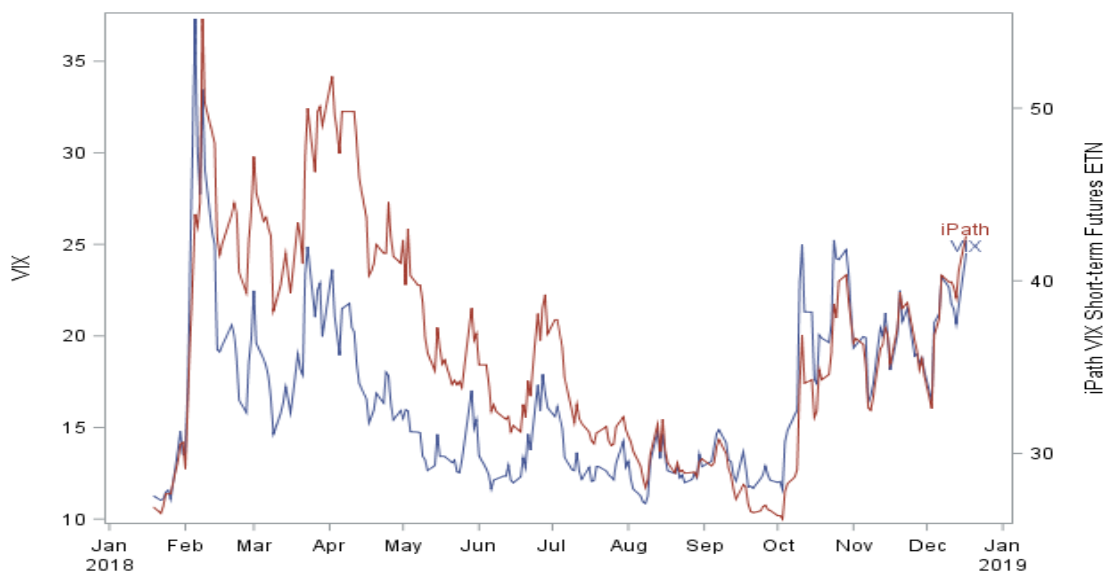


Figura 37. El VIX contra el iPath VIX Short-term Futures ETN (2018).

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

Como puede apreciarse, el comportamiento de ambos activos es idéntico al del VIX, esbozando directamente las mismas líneas, divergiendo tan solo en la longitud de éstas. En septiembre, ambos activos sufren un punto de inflexión en el cuál, pasan a estar por debajo de la línea del VIX, cuando el resto del año, se habían situado siempre por encima.

### **9.2. Definición de la estrategia de negociación**

Lo que se desprende de las figuras del apartado anterior, es que el comportamiento de los activos es muy volátil, y no presenta una tendencia clara. Por tanto lo más prudente es efectuar inversiones a largo plazo, ya que si partimos de un presupuesto de un inversor minorista, es más factible obtener rentabilidad de un buen margen de compraventa, que no percibir muchas ganancias de múltiples operaciones intradía o diarias, con un margen estrecho, que las comisiones y cánones de la bolsa terminen desvirtuando.

Si se partiera de la perspectiva de una gran entidad de inversión financiera, se podría considerar esgrimir una estrategia a corto plazo, ya que las condiciones de las grandes empresas suponen unas comisiones muy bajas o a en ocasiones hasta inexistentes, además de que las posibilidades del volumen de negociación propician que un pequeño margen de beneficio se traduzca en cantidades ingentes para el pequeño inversor.

Dado que no es el caso, se opta por una estrategia de inversión a largo plazo que optimice la rentabilidad, procurando el mejor momento de compra y de venta. Otra de las lecturas primordiales que puede hacerse de los gráficos, es que si bien el comportamiento de los activos está estrechamente ligado al del índice, no es exactamente proporcional. Hecho demostrable si se observa que se ha dado el mismo precio del activo para niveles diferentes del VIX, significativamente diferentes. He aquí donde reside la clave de este mecanismo y lo diferencia de una estrategia estándar que compra cuando el activo está barato y vende cuando está caro, sin atender a otros indicadores.

La misión del mecanismo será contextualizar el valor del activo según el índice VIX, evitando así el dejarse llevar por un exceso de confianza, debido a la inflación del instrumento.

Tal y como es tradicional en los folletos de información financiera sobre el producto a consumir (especialmente desde la fuerte omnipresencia de los reguladores desde la

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

crisis financiera hasta la actualidad), se definirá el perfil del inversor según la idoneidad:

- Nivel de conocimientos financieros del inversor: muy alto. Se trata de una estrategia de negociación sobre un activo altamente complejo, que aunque actúa como una simple acción, entraña una gran complejidad en su naturaleza. Por tanto, el inversor debe poseer un vasto conocimiento financiero que le permita juzgar con criterio si es apropiado arriesgarse.
- Nivel de aversión al riesgo: muy bajo. Se trata de uno de los activos más volátiles del mercado, y de comportamiento tan impredecible como el propio futuro. Se debe asumir mucho riesgo y la firme posibilidad de perder toda la inversión.
- Esperativas de inversión: largoplazistas. La clave para obtener beneficios puede ser aguantar posiciones a largo plazo hasta obtener la rentabilidad esperada. Por tanto el inversor debe estar dispuesto a esperar meses o hasta años para obtener rentabilidad. Sin embargo en contraposición a esto, la naturaleza del activo casi asegura que el tiempo brindará la posibilidad de recuperar la inversión casi con toda certeza en algún momento del futuro.
- Gestión de la inversión: activa. Dadas las características del producto, es necesario estar al corriente del comportamiento de los mercados, o en este caso, programar un mecanismo que lo esté por el usuario. Aún así, es imprescindible, la supervisión humana del comportamiento del mecanismo.
- Nivel de la inversión: medio-alto. A pesar de que es accesible para minoristas, no es una estrategia que resulte útil para microinversiones como menos de mil dólares. Se considera un nivel de inversión adecuado de diez mil hasta cien mil dólares o un millón, en función de las posibilidades y aversión al riesgo del inversor.

### 9.3. Parametrización del mecanismo

El primer paso para la confección del mecanismo será encontrar el medio por el cual efectuar la inversión. Dado que el perfil del inversor es minorista, la plataforma de negociación de títulos debe ser accesible para cualquiera. La plataforma elegida será IG, una de las plataformas de negociación electrónica más utilizadas mundialmente, y que da acceso prácticamente a todo el mercado de renta variable.

Las condiciones a tener en cuenta de este *bróker*, consisten en una comisión de 0,02 dólares estadounidenses por la compra de cada título, y un 25% del margen de ganancias en el momento de la venta de los títulos. Estas restricciones se introducirán

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

en el mecanismo, para simular un año de estrategia con el mayor realismo posible. El mecanismo se desarrollará en una macro (véase anexo 13.5.7). En primer lugar, los parámetros de entrada son:

- Los inputs del modelo predictivo ganador del análisis multivariante. Es decir, la ecuación del denominado “modelo optimizado de la regresión aleatoria”, y las variables que lo conforman.
- Datos de entrada: se debe especificar el conjunto de datos de entrada. Éste debe contener la información para predecir el VIX, según las variables procedentes del modelo ganador, además de una variable que calcula el índice para el día siguiente en base a la ecuación procedente del modelo ganador. Además de ello, el precio de cierre en dólares del activo en el que se desea invertir, en este caso el iPath y el Proshares. La temporalidad como se especificó al inicio del apartado, será diaria, en este caso, la del año 2018.
- Presupuesto inicial: se debe especificar la cantidad en dólares estadounidenses que se desea invertir.
- Días de mercado de la duración de la estrategia: en este caso, se aprovechará la totalidad del 2018 (242 días), pero si se llevase a la realidad, se especificaría hasta cuando se desea programar la estrategia.
- Precio medio del activo en el año anterior: para la primera compra, se tomará como referencia, el precio medio del activo durante el año anterior. Si no se dispone de él, como en el caso del iPath que se comercializó en 2018 por primera vez, un valor bajo de referencia. Así como la cotización diaria del activo, para conocer el coste de la inversión.

Después de la configuración inicial, el mecanismo accionará un bucle que tendrá tantas iteraciones como días de estrategia se le indique en la parametrización. Durante este bucle, la estrategia consistirá en comprar títulos y venderlos. Al comienzo de la macro, antes de la ejecución del bucle, se declararán unas macrovariables (inicializadas en cero), que servirán para guardar la información del desarrollo de la estrategia:

- Cartera: indica en todo momento la cantidad de títulos de la que se dispone.
- Compra: indica el valor en USD, de la última compra de títulos.
- Venta: indica el valor en USD, de la última venta de títulos.
- Vix\_día\_inv: indica el valor real (no predictivo) del índice VIX, el día de la última compra.
- Precio\_día\_inv: indica el valor del precio del activo (iPath o Proshares), el día de la última compra. Cumple una función informativa, no decisiva en la ejecución de la estrategia.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- Balance: la variable clave de la estrategia. Expresa en cada momento la diferencia entre el total invertido, y el total obtenido.
- Inversión inicial: refleja la cantidad invertida. Puede diferir mínimamente de la especificada en la parametrización inicial, debido a los decimales de los precios de activos.

Durante la ejecución de la estrategia, no se contempla la reinversión de capital (introducir más dinero que el inicial). Además, dentro del perfil riesgoso del inversor, se trata de una estrategia bastante conservadora, que busca consolidar las ganancias, de forma que una vez que se recupera lo invertido, se juega solo con las ganancias. Distinguiendo tres tipos de eventos, que se activarán si se cumplen ciertas condiciones y que actualizarán las macrovariables cada vez que se produzcan:

- Compra inicial: evento único en el bucle que se da solamente en la primera inversión. Las condiciones para que se produzca son tres. Las dos primeras son que el valor de la cartera sea cero en ese momento (no haya títulos comprados), y que la inversión inicial sea cero también (así se distingue de las otras compras). Si se dan las anteriores restricciones, para la tercera cobrará importancia únicamente el precio del activo.

Dado que es el momento de entrar en el mercado, la condición de entrada será que el valor del activo sea inferior a la cuarta parte de la media del activo en el año anterior. Cabe recordar que la media del año anterior se introdujo como parámetro de entrada al invocar a la macro. Asegurándose así, que se adquiere el bien a un precio bajo que permita un buen margen. En caso de no disponer de información en el año anterior, se estimará un valor bajo de referencia. La elección de un cuarto del precio medio del ejercicio anterior es variable según el apetito de riesgo del inversor. Si se cumplen las tres condiciones, se procederá a invertir el total del presupuesto inicial en el activo, incluyendo la comisión de dos centavos por cada título.

$$1^{\circ} \text{ Cartera} = 0 \quad 2^{\circ} \text{ Inversión inicial} = 0$$

$$3^{\circ} \text{ Precio del activo} < \frac{\text{Media del activo en el año anterior}}{4}$$

$$N^{\circ} \text{ títulos}^* = \max\left(0, \frac{\text{Presupuesto inicial}}{\text{Precio del activo} + 0,02}\right)$$

\* redondeado en números enteros

- Venta: la venta será siempre igual. La primera condición para que se active es que el valor de cartera sea distinto de cero, es decir, que existan títulos en

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

posesión para poder vender. Si se cumple esta condición, se deben cumplir dos más; la primera es que el 75% de lo que se obtenga de la hipotética venta (así se tiene en cuenta la comisión de la plataforma) sea mayor al valor absoluto del balance, y la segunda es que el valor predictivo del día siguiente del índice VIX (otorgado por el modelo ganador del apartado de análisis multivariante), sea mayor que 1,7 veces por el valor del VIX el día de la compra inicial de los títulos. Al igual que en el caso anterior del cuarto del precio medio del año vencido, esta elección de 1,7 veces mayor es customizable a gusto y apetito de riesgo del consumidor, o incluso susceptible de un método automático de selección más sofisticado.

De esta manera con la condición número dos, lo que se asegura es que el resultado de la venta como mínimo sea capaz de cubrir la inversión inicial. Con la condición número tres, se procura vender en un buen momento, en el cual el valor del VIX se haya incrementado notablemente, al menos 1,7 veces respecto a su valor el día de la inversión inicial. Utilizando la variable predictiva arrojada por el modelo ganador del apartado de análisis multivariante, en lugar del índice del VIX para ese día, se pretende anticiparse a una mayor subida del índice. Por tanto, esta estrategia plantea una venta bastante conservadora, que no busca apurar hasta el 100% del crecimiento del índice antes de su caída, sino que se conforma hasta obtener un margen aceptable de ganancias. Y en contraposición, también se evita una venta prematura que propicie poco margen de ganancias.

$$1^{\circ} Cartera > 0 \quad 2^{\circ} 0,75 * (Cartera * Precio del activo) > |Balance|$$

$$3^{\circ} Predicción del día siguiente del VIX > VIX_{día inversión inicial} * 1,7$$

- Compras posteriores: existen cuatro condiciones. Las dos primeras son que la cartera sea cero (no haya títulos, y por lo tanto hay que comprar), y que la inversión inicial sea distinta de cero, así se distingue de la compra inicial. Las siguientes dos condiciones serán que el precio del activo sea menor que la cuarta parte de la media del año anterior, al igual que la compra inicial. Y que el valor de la variable predictiva del día siguiente del VIX sea menor a 1,4 por el valor del VIX el día de la compra inicial. De esta manera, el VIX sirve para contextualizar el precio del activo. De nuevo, el 1,4 obedece a un criterio ejemplificativo, y puede ser aumentado a disminuido dependiendo de las necesidades del inversor.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

Tal como se mencionó anteriormente, el activo es directa pero no exactamente proporcional al índice. Por tanto para un mismo precio del activo existen niveles del VIX significativamente diferentes. Para constatar este hecho, y saber si un precio es barato o caro además de la información histórica del mismo, se tendrá en cuenta el valor del VIX, de la primera vez que se adquirió, y se procurará que no difiera mucho la próxima vez que se compre.

En esta ocasión, se comprarán tantos títulos como alcance con el capital disponible de la mitad del balance, de manera que así se vayan consolidando las ganancias.

1º Cartera = 0 2º Inversión inicial  $\neq$  0

3º Precio del activo  $< \frac{\text{Media del activo en el año anterior}}{4}$

4º Predicción del día siguiente del VIX  $< VIX_{\text{día última inversión}} * 1,4$

$$N^{\circ} \text{ títulos}^* = \max\left(0, \frac{\frac{\text{Balance}}{2}}{\text{Precio del activo} + 0,02}\right)$$

\* redondeado en números enteros

Al finalizar el mecanismo, se valorará el balance, y en caso de que existan títulos, se valorará también el valor actual de los títulos, para contabilizar todo el patrimonio.

### 9.4. Resultados de la ejecución

Para cada uno de los activos, se presentan los resultados variando únicamente la inversión inicial en 10.000 USD, 20.000 USD, 50.000 USD, 100.000 USD y 1.000.000 USD.

Para todos los casos se han efectuado tres movimientos, uno de compra inicial, la venta y la posterior compra. De forma que al finalizar el año se dispone de un capital, y un número de títulos. Para valorar el resultado final de cada estrategia, se contabilizará en la variable patrimonio, el balance y la valoración de los títulos disponibles al finalizar el año y su precio en el último día.

Como puede apreciarse en la tabla, los resultados han sido positivos para todos los casos. Los proshares en general han estado cerca de obtener el 100% de rentabilidad a lo largo del año, mientras que los ipath han obtenido rentabilidades cercanas al 25%. Más allá del optimismo de los resultados, se presentan las principales ventajas e inconvenientes del mecanismo:

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

### Ventajas:

- Aislar el componente emocional del factor humano en la decisión de compra/venta, y en el error operacional.
- La vinculación del precio del activo con el índice VIX, para contextualizar el valor del activo basándose en más factores que su propio precio histórico.
- Margen de mejora, sofisticando los requisitos de compra y venta.
- La consolidación de las ganancias, una vez que se obtiene un primer beneficio, de forma que jamás se arriesga con el capital consolidado.
- Es un modelo sencillo, que permite su modificación de forma accesible sin necesidad de tener grandes conocimientos técnicos, y la posible detección y subsanación de errores de forma más intuitiva que en modelos más complejos.

### Inconvenientes:

- El modelo predictivo puede no representar una ventaja significativa frente al uso directo del índice VIX.
- El modelo predictivo no es infalible, y puede presentar diferencias respecto al valor real superiores al 10%.
- Requiere la supervisión humana para valorar información actualizada y no percibida por una máquina.
- La mala concepción/parametrización del mecanismo de negociación automática puede desvirtuar el buen hacer del modelo predictivo.

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

Activo	Inversión inicial (USD)	Cartera (nº títulos)	Compra (USD)	Venta (USD)	Balance (USD)	Inversión inicial efectiva (USD)	Precio unitario del activo	Patrimonio	VIX	Fecha movimiento
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	10.000	212	- 10.021,24	-	- 10.021,24	10.021,24	43,35	- 831,04	9,88	02/01/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	10.000	-	-	18.181,65	8.160,41	10.021,24	60,15	8.160,41	12,65	05/02/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	10.000	71	- 4.062,62	-	4.097,79	10.021,24	35,72	6.633,91	11,61	14/05/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	10.000	71	-	-	4.097,79	10.021,24	71,07	9.143,76	24,52	17/12/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	20.000	423	- 19.995,21	-	- 19.995,21	19.995,21	43,35	- 1.658,16	9,88	02/01/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	20.000	-	-	36.277,54	16.282,33	19.995,21	60,15	16.282,33	12,65	05/02/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	20.000	142	- 8.125,24	-	8.157,09	19.995,21	35,72	13.229,33	11,61	14/05/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	20.000	142	-	-	8.157,09	19.995,21	71,07	18.249,03	24,52	17/12/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	50.000	1.058	- 50.011,66	-	- 50.011,66	50.011,66	43,35	- 4.147,36	9,88	02/01/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	50.000	-	-	90.736,73	40.725,07	50.011,66	60,15	40.725,07	12,65	05/02/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	50.000	356	- 20.370,32	-	20.354,75	50.011,66	35,72	33.071,07	11,61	14/05/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	50.000	356	-	-	20.354,75	50.011,66	71,07	45.655,67	24,52	17/12/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	100.000	2.116	-100.023,32	-	-100.023,32	100.023,32	43,35	- 8.294,72	9,88	02/01/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	100.000	-	-	181.473,45	81.450,13	100.023,32	60,15	81.450,13	12,65	05/02/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	100.000	712	- 40.740,64	-	40.709,49	100.023,32	35,72	66.142,13	11,61	14/05/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	100.000	712	-	-	40.709,49	100.023,32	71,07	91.311,33	24,52	17/12/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	1.000.000	21.155	-999.996,85	-	-999.996,85	999.996,85	43,35	- 82.927,60	9,88	02/01/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	1.000.000	-	-	1.814.305,69	814.308,84	999.996,85	60,15	814.308,84	12,65	05/02/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	1.000.000	7.116	-407.177,52	-	407.131,32	999.996,85	35,72	661.314,84	11,61	14/05/2018
ProShares Ultra VIX Short-Term Futures ETF	1.000.000	7.116	-	-	407.131,32	999.996,85	71,07	912.865,44	24,52	17/12/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	10.000	371	- 9.987,32	-	- 9.987,32	9.987,32	26,53	- 144,69	11,03	19/01/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	10.000	-	-	12.204,05	2.216,73	9.987,32	36,71	2.216,73	13,23	05/02/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	10.000	31	- 1.111,35	-	1.105,38	9.987,32	26,20	1.917,58	11,61	11/05/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	10.000	31	-	-	1.105,38	9.987,32	42,59	2.425,67	24,52	17/12/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	20.000	743	- 20.001,56	-	- 20.001,56	20.001,56	26,53	- 289,77	11,03	19/01/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	20.000	-	-	24.440,99	4.439,43	20.001,56	36,71	4.439,43	13,23	05/02/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	20.000	62	- 2.222,70	-	2.216,73	20.001,56	26,20	3.841,13	11,61	11/05/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	20.000	62	-	-	2.216,73	20.001,56	42,59	4.857,31	24,52	17/12/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	50.000	1.857	- 49.990,44	-	- 49.990,44	49.990,44	26,53	- 724,23	11,03	19/01/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	50.000	-	-	61.086,02	11.095,58	49.990,44	36,71	11.095,58	13,23	05/02/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	50.000	155	- 5.556,75	-	5.538,83	49.990,44	26,20	9.599,83	11,61	11/05/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	50.000	155	-	-	5.538,83	49.990,44	42,59	12.140,28	24,52	17/12/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	100.000	3.715	-100.007,80	-	-100.007,80	100.007,80	26,53	- 1.448,85	11,03	19/01/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	100.000	-	-	122.204,93	22.197,13	100.007,80	36,71	22.197,13	13,23	05/02/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	100.000	310	- 11.113,50	-	11.083,63	100.007,80	26,20	19.205,63	11,61	11/05/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	100.000	310	-	-	11.083,63	100.007,80	42,59	24.286,53	24,52	17/12/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	1.000.000	37.147	-999.997,24	-	-999.997,24	999.997,24	26,53	- 14.487,33	11,03	19/01/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	1.000.000	-	-	1.221.950,57	221.953,33	999.997,24	36,71	221.953,33	13,23	05/02/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	1.000.000	3.096	-110.991,60	-	110.961,73	999.997,24	26,20	192.076,93	11,61	11/05/2018
iPath Series B S&P 500 VIX Short-Term Futures ETN	1.000.000	3.096	-	-	110.961,73	999.997,24	42,59	242.820,37	24,52	17/12/2018

Tabla 1. Resultados de la ejecución del mecanismo según instrumento e inversión inicial

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

### 10. Conclusiones

Durante la introducción del trabajo, se exponía un ambicioso objetivo de denotar y cuantificar las relaciones lineales entre un índice que mide la volatilidad del mercado americano y un conjunto de variables de información del mercado financiero mundial, que fruto de la globalización sin duda impactan en el índice. Además de la creación de un mecanismo capaz de ejecutar una perfectamente concebida estrategia de mercado que permita al inversor lucrarse a costa de su conocimiento del mercado y su permisividad frente al riesgo.

Ahora bien, muy lejos del conocimiento e interpretación de la totalidad de la compleja red de confluencias que rodean el mundo financiero, si se puede concluir una serie de interesantes razonamientos que sin duda supondrán una valiosa aportación para los amantes del mercado financiero y la estadística.

El trabajo comenzó con la construcción de la base de datos, la cual fue llevada a cabo de forma manual, y cuyo carácter único, dada la combinación de los datos que la forman, esperaba marcar la diferencia respecto de estudios anteriores. La construcción de ésta conllevó un gran porcentaje del total de horas dedicadas al trabajo, y sirvió como adiestramiento para la identificación, ubicación y recopilación de datos del mundo financiero procedentes de fuentes fiables.

El siguiente apartado clave es el de análisis multivariante. En este apartado, gracias a la capacidad de procesamiento de los computadores actuales, fue posible el uso de bucles que rotaran los parámetros en búsqueda del modelo óptimo. Cabe recordar las dos vías diferenciadas en este apartado, la analítica y la predictiva, amén de la creación de una macro de regresión que selecciona conjuntos aleatorios de variables.

En cuanto a la vía analítica, si bien no tiene aplicaciones lucrativas, es al menos satisfactorio concluir un estudio que explica casi la totalidad de la variable respuesta (un  $R^2$  de validación de 0,9947259722 y un  $R^2$  de entrenamiento de 0,999082521) con información de mercado.

En la vía predictiva, el modelo ganador proviene del método de “regresión aleatoria”, a diferencia de la vía analítica cuyo modelo ganador proviene de la regresión tradicional. Es interesante observar como a pesar de que los resultados son muy parejos, en ciertas ocasiones, una regresión con la totalidad de los datos supera a muchas regresiones con partes de esos datos seleccionados al azar, y otras no. Tampoco es desdeñable el modelo ganador de la vía predictiva, que a pesar de no superar al de la

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

vía analítica, logra sendos  $R^2$  de entrenamiento y validación muy aceptables (un  $R^2$  de validación de 0,8989391959 y un  $R^2$  de entrenamiento de 0,9667567198). Evidenciando que es más asequible explicar una variable con datos de su mismo día, que esa misma variable para el día siguiente con datos de hoy.

Aunque, si se es crítico con el modelo predictivo, es posible que lo que el modelo esté atinando sea el dato del día anterior en ocasiones, y por proximidad al día siguiente, sea una falsa predicción. Esto se aprecia en algunas subidas repentinas, que el modelo no es capaz de preveer.

Es interesante observar las variables que más impacto han tenido a la hora de predecir el índice, como son los tipos de interés a corto o medio plazo, y los índices bursátiles principales a nivel mundial, y en especial como era de esperar, el americano. También destaca la nula significancia de las divisas o las variables socioeconómicas y sociodemográficas.

El apartado de redes ha dejado conclusiones que si bien a primera vista pudieran parecer decepcionantes, no dejan de ser curiosas. La regresión ha logrado ganar, por poco, en capacidad predictiva a las redes neuronales. Lo que demuestra que existen algunas excepciones en las que es preferible emplear las técnicas de regresión. Además de la tremenda complejidad que encierra esta técnica y de su carácter abstracto, a pesar de ser considerada como una de las técnicas estadísticas más prestigiosas y efectivas; la mayoría de los libros de expertos en Estadística la describen como una caja negra que nadie entiende muy bien cómo funciona, pero cuya eficacia es indiscutible. A diferencia de la regresión, cuya interpretabilidad es más sencilla.

El apartado final del mecanismo de negociación ha sido gratificante, ya que ha posibilitado la creación de una estrategia de negociación automática que ha devenido en la generación de riqueza para el inversor en una simulación a máquina con datos reales de mercado. Aún a riesgo de resultar ventajista, o de incurrir en un exceso de optimismo, puede concluirse que el mecanismo, cuanto menos, puede considerarse como base para una estrategia de negocio real en la compraventa de activos relacionados con el VIX. Singularmente el Proshares, que mejores resultados ha obtenido.

Este estudio abre también líneas de investigación sobre aspectos más puntuales contenidos en éste, y que permite abordar los temas particulares de una manera más personalizada y concluir con más evidencia estadística. Tales como la definición del umbral perfecto de compra y venta de activos según su precio y el valor del VIX, la ampliación del estudio del VIX con foco especial en el tipo de variables que han

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

resultado más útiles como los tipos de interés, o porque las divisas escapan a la volatilidad del mercado americano, además de otras más técnicas como comparación de la efectividad de regresiones aleatorias contra regresiones sobre la totalidad del conjunto de datos o en qué ocasiones la regresión supera a las redes.

En definitiva, el balance es positivo por los resultados obtenidos, y se espera haber despertado el interés del lector por la relación que guardan los números con el mercado financiero, y la cantidad de información útil que éste proporciona, quedando alguna sin aprovechar. En lo personal, el estudio ha ayudado a despertar o perfeccionar ciertas habilidades, como la ya mencionada de recopilación de información, la de la explotación del software estadístico y las técnicas de análisis multivariante, pero por encima de todo, un vasto conocimiento sobre productos financieros.

Cabe mencionar en estas líneas finales, que a pesar del porcentaje que podamos explicar del VIX, o la volatilidad en general con números, éstos siempre conllevarán un factor humano decisivo, el cual es imposible de medir, estudiar o predecir.

### 11. Revisión de la literatura

Como apéndice, se disponen algunos interesantes escritos que comparan la relación entre el VIX y el análisis de datos, y que a humilde juicio se ha creído oportuno destacar:

- *Estudio de efectos asimétricos y día de la semana en el índice de volatilidad 'VIX' (29/08/2007)*, por Pilar Beatriz Álvarez Franco, Diego Alexander Restrepo y Fredy Ocaris Pérez.

[https://www.researchgate.net/publication/277833329\\_Estudio\\_de\\_efectos\\_asimetricos\\_y\\_dia\\_de\\_la\\_semana\\_en\\_el\\_indice\\_de\\_volatilidad\\_'VIX'](https://www.researchgate.net/publication/277833329_Estudio_de_efectos_asimetricos_y_dia_de_la_semana_en_el_indice_de_volatilidad_'VIX')

En este trabajo se estudian los efectos asimétricos y día de la semana en el Índice de Volatilidades VIX de la Chicago Board Option Exchange del 02/01/2003 al 30/03/2007. Se utilizan modelos GARCH asumiendo innovaciones gaussianas, t-student y de la distribución generalizada de los errores (GED). Para las innovaciones gaussianas se utiliza el método de Quasi Máxima Verosimilitud. Se encuentra que un modelo EGARCH (1,1) y un modelo TGARCH con regresores exógenos para el día lunes e innovaciones con distribución GED y t-Student, respectivamente, se ajustan bien a los datos. Ambos modelos indican que existen efectos asimétricos en la serie y que en el día lunes la volatilidad del mercado medida con el VIX es mayor que en los

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

demás días. Dado que en la literatura se encuentra que los días lunes los rendimientos son menores, estos resultados apoyan la hipótesis de que los rendimientos de los activos financieros están correlacionados negativamente con su volatilidad.

- *The Market for Volatility Trading; Vix Futures* (mayo del 2007), por Jin E. Zhang, Jinghong Shu y Menachem Brenner.

[https://www.researchgate.net/publication/228140571\\_The\\_Market\\_for\\_Volatility\\_Trading\\_Vix\\_Futures](https://www.researchgate.net/publication/228140571_The_Market_for_Volatility_Trading_Vix_Futures)

Este *paper* analiza el nuevo mercado de negociación de volatilidad, los futuros del VIX. Primero utilizaremos datos de mercado para establecer la relación entre el índice VIX y el precio de los futuros del VIX. Observamos que los futuros del VIX y el VIX están altamente correlados, el precio de los futuros del VIX presenta una pendiente creciente mientras que el VIX una pendiente decreciente. Para establecer una relación teórica entre los futuros del VIX y el VIX, modelizamos la varianza instantánea usando un simple proceso de raíz cuadrada de la media invertida. Usando parámetros diarios de la varianza calibrada y el VIX, el modelo aporta buenas predicciones del precio de los futuros del VIX. Estas estimaciones de parámetros pueden ser usadas para determinar el precio de las opciones del VIX.

- *VIX and VIX Futures Pricing Algorithms: Cultivating Understanding* (03/05/2012), por Anne Hancock.

[https://www.researchgate.net/publication/266050421\\_VIX\\_and\\_VIX\\_Futures\\_Pricing\\_Algorithms\\_Cultivating\\_Understanding](https://www.researchgate.net/publication/266050421_VIX_and_VIX_Futures_Pricing_Algorithms_Cultivating_Understanding)

Este artículo examina el desarrollo del índice de volatilidad del S&P 500 y emplea información de mercado para desarrollar algoritmos que ayuden a clarificar algunos de los aspectos en la determinación del valor de un índice. El entendimiento de los puntos pertinentes provee de una visión de la interpretación y las limitaciones de la utilidad del VIX y otros instrumentos del tipo del VIX.

- *The Causal Relationship between the S&P 500 and the VIX Index: Critical Analysis of Financial Market Volatility and its Predictability* (2015), por Florian Auinger. Análisis crítico del índice de volatilidad VIX, su influencia en el mercado y su capacidad para ser predecido.

<https://books.google.es/books?id=7FSsBgAAQBAJ&pg=PA2&lpg=PA2&dq=vix+research&source=bl&ots=8tYe-EsnRf&sig=ACfU3U1aWRIHfAYV21eN300IaFymp4-IMQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwixlfHm5KjnAhXhpHEKHTAHCmoQ6AEwEHoECAoQAQ#v=onepage&q&f=false>

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

## 12. Bibliografía

- Información del VIX traducida del original *CBOE VIX WHITE PAPER*, accessible en <https://www.cboe.com/micro/vix/vixwhite.pdf>
- La totalidad de la base de datos en la plataforma Bloomberg. Al ser su acceso condicionado a la suscripción de pagos, no es posible indicar el enlace concreto para cada dato. Si se dispone de acceso a la herramienta, bastará con buscar el nombre del dato en cuestión en la barra de búsqueda de la interfaz de la herramienta. Este enlace es meramente indicativo, dado que el acceso a la información se efectúa a través de un terminal que se instala como *software* en un dispositivo informático, normalmente un ordenador. <https://www.bloomberg.com/europe>
- Datos históricos del VIX, <http://www.cboe.com/products/vix-index-volatility/vix-options-and-futures/vix-index/vix-historical-data>
- Artículo NASDAQ de Forex > <https://www.nasdaq.com/articles/forex-market-overview-2019-06-07>
- Datos históricos del Euribor y Eonia > <https://www.emmi-benchmarks.eu/euribor-org/euribor-rates.html>
- Tipos interés de la Reserva Federal Americana <https://www.federalreserve.gov/datadownload/Download.aspx?rel=H15&series=bf17364827e38702b42a58cf8eaa3f78&filetype=sheetml&label=include&layout=seriescolumn&from=12/31/2003&to=01/08/2019>
- Información sobre los Proshares <https://www.proshares.com/funds/uvxy.html>
- Información sobre los IPATH <https://www.ipathetn.com/US/16/en/details.app?instrumentId=341408>
- Información sobre los costes de operar en la plataforma IG <https://www.ig.com/es/acciones/mercado-acciones/proshares-ultra-vix-short-term-etf-UVXY-US>  
<https://www.ig.com/es/nuestros-costes>
- En los modelos predictivos, la teoría sobre las redes neuronales, información obtenida a través del libro *Aproximación básica a las redes neuronales artificiales* por Francisco Caicedo Bravo.
- La teoría sobre la regresión lineal proviene de Wikipedia [https://es.wikipedia.org/wiki/Regresi%C3%B3n\\_lineal](https://es.wikipedia.org/wiki/Regresi%C3%B3n_lineal)

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

### 13. Anexos.

#### 13.1. Conjunto de variables

A continuación se expondrán todas las variables que conforman la base de datos, clasificadas en los grupos expuestos en el apartado 5, con una breve explicación pormenorizada y denominadas según su asignación literal y orden en la base de datos.

- Variable de tipo fecha:
  - Date: contiene la fecha del resto de las variables. Sirve como nexo de toda la base de datos. Única variable en un formato distinto al numérico.
- Variable objetivo: VIX. Contiene la información sobre el índice VIX:
  - VIX\_Open: contiene la apertura del índice VIX.
  - VIX\_High: contiene el máximo valor alcanzado en el día del índice VIX.
  - VIX\_Low: contiene el mínimo valor alcanzado en el día del índice VIX.
  - VIX\_Close: contiene el cierre del índice VIX. Esta es la variable objetivo, ya que en las series económicas, el dato más significativo es el de cierre de mercado.
- Variables divisas: el tipo de cambio del dólar contra las principales divisas mundiales. Todas las monedas se expresan según su contravalor en dólares, por criterios de homogeneidad con el VIX. Dado que el índice VIX se calcula en esencia, en base a la variabilidad del precio de opciones sobre el *S&P 500* que cumplen una serie de criterios; y el precio de estas opciones está en dólares, al igual que los componentes del índice *S&P 500*.

En cuanto a la importancia del mercado monetario internacional, conocido como *Forex* (en inglés abreviatura de *Foregin Exchange*), representa el mercado más líquido del mundo, y el mercado financiero más grande del mundo. Según un artículo de *Nasdaq* publicado el siete de junio del 2019, este mercado mueve un volumen promedio diario de más de 5 trillones americanos de dólares.

La nomenclatura de las variables atañe a un criterio por el cual se combina el código ISO<sup>5</sup> internacional de los dos pares de divisa.

---

<sup>5</sup> Código Iso 4217: El código de una divisa a nivel internacional es dado según el estándar internacional ISO 4217 para mantener un consenso al nombrar las divisas de las diferentes regiones del mundo. El código ISO 4217 se compone de tres letras para cada divisa. Las dos primeras letras del código son las dos letras del código del país de la divisa según el estándar ISO 3166-1 y la tercera es normalmente la inicial de la divisa en sí.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- USDARS\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al peso argentino.
- USDAUD\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al dólar australiano.
- USDBRL\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al Real brasileño.
- USDCAD\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al dólar canadiense.
- USDCHF\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al franco suizo.
- USDCLP\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al peso chileno.
- USDCNY\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al Yuan chino.
- USDCOP\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al peso colombiano.
- USDDKK\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente a la corona danesa.
- USDEUR\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al Euro.
- USDGBP\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente a la libra esterlina.
- USDHKD\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al dólar de Hong Kong.
- USDHUF\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al forint húngaro.
- USDIDR\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente a la rupiah indonesia.
- USDILS\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al nuevo sheqel israelí.
- USDINR\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al rupia india.
- USDJOD\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al dinar jordano.
- USDJPY\_Currency: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al Yen japonés.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- USDKRW\_Curncy: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al won surcoreano.
  - USDKWD\_Curncy: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al dinar kuwaití.
  - USDLKR\_Curncy: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al rupia de Sri Lanka.
  - USDMXN\_Curncy: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al peso mexicano.
  - USDNOK\_Curncy: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente a la corona noruega.
  - USDNZD\_Curncy: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al dólar neozelandés.
  - USDPEN\_Curncy: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al nuevo sol peruano.
  - USDPLN\_Curncy: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al zloty polaco.
  - USDRUB\_Curncy: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al rublo ruso.
  - USDSAR\_Curncy: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al riyal saudí.
  - USDSEK\_Curncy: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente a la corona sueca.
  - USDTRY\_Curncy: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente a la Lira turca.
  - USDTWD\_Curncy: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al dólar taiwanés.
  - USDVND\_Curncy: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al dong vietnamita.
  - USDZAR\_Curncy: Tipo de cambio del dólar estadounidense frente al rand sudafricano.
- Variables de los principales índices bursátiles mundiales. Los índices bursátiles son un descriptivo bastante fiel de la economía de un país. Son registros estadísticos que recogen la variabilidad de la rentabilidad promedio de las acciones que lo componen. Un índice establece una serie de reglas para la inclusión de una acción como componente, ya que están definidos con un número limitado de valores, los cuales representan las empresas más punteras en la bolsa nacional o internacional en cuestión. La mayoría se rigen por

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

capitalización bursátil, es decir, ponderando según el peso que ejerce cada componente, no todos los componentes aportan igual.

Un índice, si bien es un cálculo estadístico expresado normalmente en puntos, cotiza en la misma divisa que los valores que lo componen. Con el fin de aislar el impacto de la inflación de las diferentes divisas, y homogeneizar los valores de la base de datos, las cifras de los índices bursátiles no americanos se expresarán según su contravalor en dólares respecto a su divisa origen.

- SP500\_CLOSE\_USD: el cierre del S&P 500, cotizado en Nueva York.
- SP500\_OPEN\_USD: la apertura del S&P 500.
- SP500\_LOW\_USD: el valor mínimo alcanzado en el día del S&P 500.
- SP500\_HIGH\_USD: el valor máximo alcanzado en el día del S&P 500.
- SP500\_ADJ\_CLOSE\_USD: el cierre ajustado del S&P 500.
- SP500\_VOLUME\_USD: el volumen total negociado en el día del S&P 500.
- IBEX35\_CLOSE\_EURUSD: el cierre del IBEX 35 cotizado en Madrid, expresado según su contravalor en dólares.
- IBEX35\_VOLUME\_EURUSD: el volumen total negociado en el día del IBEX 35, expresado según su contravalor en dólares.
- IBEX35\_SMAVG\_EURUSD: media móvil del IBEX 35, expresado según su contravalor en dólares.
- WIG20\_CLOSE\_PLNUSD: el cierre del índice WIG20 cotizado en Varsovia, expresado según su contravalor en dólares.
- WIG20\_VOLUME\_PLNUSD: el volumen total negociado en el día del WIG20, expresado según su contravalor en dólares.
- WIG20\_SMAVG\_PLNUSD: media móvil del WIG20, expresado según su contravalor en dólares.
- TWSE\_CLOSE\_TWDUSD: el cierre del índice de la bolsa cotizada de Taiwan, expresado según su contravalor en dólares.
- TWSE\_VOLUME\_TWDUSD: el volumen total negociado en el día del índice de la bolsa cotizada de Taiwan, expresado según su contravalor en dólares.
- TWSE\_SMAVG\_TWDUSD: media móvil del índice de la bolsa cotizada de Taiwan, expresado según su contravalor en dólares.
- SASEIDX\_CLOSE\_SARUSD: el cierre del índice de Tadawull All Share cotizado en Arabia Saudí, expresado según su contravalor en dólares.
- SASEIDX\_VOLUME\_SARUSD: el volumen total negociado en el día del índice de Tadawull All Share, expresado según su contravalor en dólares.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- SASEIDX\_SMAVG\_SARUSD: media móvil del índice de Tadawull All Share, expresado según su contravalor en dólares.
- TA-35\_CLOSE\_ILSUSD: el cierre del índice de TA-35 cotizado en Tel Aviv, expresado según su contravalor en dólares.
- TA-35\_VOLUME\_ILSUSD: el volumen total negociado en el día del índice de TA-35, expresado según su contravalor en dólares.
- TA-35\_SMAVG\_ILSUSD: media móvil del índice de TA-35, expresado según su contravalor en dólares.
- SHSN300\_CLOSE\_CNYUSD: el cierre del índice de Shanghai Shenzhen CSI 300, expresado según su contravalor en dólares.
- SHSN300\_VOLUME\_CNYUSD: el volumen total negociado en el día del índice de Shanghai Shenzhen CSI 300, expresado según su contravalor en dólares.
- SHSN300\_SMAVG\_CNYUSD: media móvil del índice de Shanghai Shenzhen CSI 300, expresado según su contravalor en dólares.
- SMI\_CLOSE\_CHFUSD: el cierre del índice del mercado suizo, expresado según su contravalor en dólares.
- SMI\_VOLUME\_CHFUSD: el volumen total negociado en el día del índice del mercado suizo, expresado según su contravalor en dólares.
- SMI\_SMAVG\_CHFUSD: media móvil del índice del mercado suizo, expresado según su contravalor en dólares.
- SPTSX\_CLOSE\_CADUSD: el cierre del índice de la bolsa de Toronto, expresado según su contravalor en dólares.
- SPTSX\_VOLUME\_CADUSD: el volumen total negociado en el día de la bolsa de Toronto, expresado según su contravalor en dólares.
- SPTSX\_SMAVG\_CADUSD: media móvil del índice de la bolsa de Toronto, expresado según su contravalor en dólares.
- SPBMVIPC\_CLOSE\_MXNUSD: el cierre del índice de la bolsa mejicana de valores, expresado según su contravalor en dólares.
- AS51\_CLOSE\_AUDUSD: el cierre del índice S&P/ASX 200 cotizado en la bolsa de valores de Australia, expresado según su contravalor en dólares.
- AS51\_VOLUME\_AUDUSD: el volumen total negociado en el día del índice S&P/ASX 200, expresado según su contravalor en dólares.
- AS51\_SMAVG\_AUDUSD: media móvil del índice S&P/ASX 200, expresado según su contravalor en dólares.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- SPBL25PT\_CLOSE\_PENUSD: el cierre del índice S&P/BVL Lima 25 cotizado en Lima, expresado según su contravalor en dólares.
- SPBL25PT\_VOLUME\_PENUSD: el volumen total negociado en el día del índice S&P/BVL Lima 25, expresado según su contravalor en dólares.
- SPBL25PT\_SMAVG\_PENUSD: media móvil del índice S&P/BVL Lima 25, expresado según su contravalor en dólares.
- SPIPSAUP\_CLOSE\_CLPUSD: el cierre del índice S&P/CLX IPSA cotizado en Santiago de Chile, expresado según su contravalor en dólares.
- SPIPSAUP\_VOLUME\_CLPUSD: el volumen total negociado en el día del índice S&P/CLX IPSA, expresado según su contravalor en dólares.
- SPIPSAUP\_SMAVG\_CLPUSD: media móvil del índice S&P/CLX IPSA, expresado según su contravalor en dólares.
- RTSI\$\_CLOSE\_USD: el cierre del índice RTS cotizado en Moscú.
- RTSI\$\_VOLUME\_USD: el volumen total negociado en el día del índice RTS.
- RTSI\$\_SMAVG\_USD: media móvil del índice RTS.
- PSI20\_CLOSE\_EURUSD: el cierre del índice PSI 20 cotizado en Lisboa, expresado según su contravalor en dólares.
- PSI20\_VOLUME\_EURUSD: el volumen total negociado en el día del índice PSI 20, expresado según su contravalor en dólares.
- PSI20\_SMAVG\_EURUSD: media móvil del índice PSI 20, expresado según su contravalor en dólares.
- OMX\_CLOSE\_SEKUSD: el cierre del índice OMX Stockholm 30 cotizado en Estocolmo, expresado según su contravalor en dólares.
- OMX\_VOLUME\_SEKUSD: el volumen total negociado en el día del índice OMX Stockholm 30, expresado según su contravalor en dólares.
- OMX\_SMAVG\_SEKUSD: media móvil del índice OMX Stockholm 30, expresado según su contravalor en dólares.
- NKY\_CLOSE\_JPYUSD: el cierre del índice Nikkei 225 cotizado en Tokyo, expresado según su contravalor en dólares.
- NKY\_VOLUME\_JPYUSD: el volumen total negociado en el día del índice Nikkei 225, expresado según su contravalor en dólares.
- NKY\_SMAVG\_JPYUSD: media móvil del índice Nikkei 225, expresado según su contravalor en dólares.
- NIFTY\_CLOSE\_INRUSD: el cierre del índice Nifty 50 cotizado en La India, expresado según su contravalor en dólares.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- NIFTY\_VOLUME\_INRUSD: el volumen total negociado en el día del índice Nifty 50, expresado según su contravalor en dólares.
- NIFTY\_SMAVG\_INRUSD: media móvil del índice Nifty 50, expresado según su contravalor en dólares.
- CCMP\_CLOSE\_USD: el cierre del índice NASDAQ cotizado en Nueva York.
- CCMP\_VOLUME\_USD: el volumen total negociado en el día del índice NASDAQ.
- CCMP\_SMAVG\_USD: media móvil del índice NASDAQ.
- IMOEX\_CLOSE\_RUBUSD: el cierre del índice MOEX Russia cotizado en Moscú, expresado según su contravalor en dólares.
- IMOEX\_VOLUME\_RUBUSD: el volumen total negociado en el día del índice MOEX Russia, expresado según su contravalor en dólares.
- IMOEX\_SMAVG\_RUBUSD: media móvil del índice MOEX Russia, expresado según su contravalor en dólares.
- Merval\_CLOSE\_ARSUSD: el cierre del índice S&P Merval cotizado en Buenos Aires, expresado según su contravalor en dólares.
- Merval\_VOLUME\_ARSUSD: el volumen total negociado en el día del índice S&P Merval, expresado según su contravalor en dólares.
- Merval\_SMAVG\_ARSUSD: media móvil del índice S&P Merval, expresado según su contravalor en dólares.
- KOSPI\_CLOSE\_KRWUSD: el cierre del índice KOSPI cotizado en el mercado de valores de Corea del Sur, expresado según su contravalor en dólares.
- KOSPI\_VOLUME\_KRWUSD: el volumen total negociado en el día del índice KOSPI, expresado según su contravalor en dólares.
- KOSPI\_SMAVG\_KRWUSD: media móvil del índice KOSPI, expresado según su contravalor en dólares.
- JCI\_CLOSE\_IDRUSD: el cierre del índice de la bolsa de Jakarta, expresado según su contravalor en dólares.
- JCI\_VOLUME\_IDRUSD: el volumen total negociado en el día del índice de la bolsa de Jakarta, expresado según su contravalor en dólares.
- JCI\_SMAVG\_IDRUSD: media móvil del índice de la bolsa de Jakarta, expresado según su contravalor en dólares.
- HNX30\_CLOSE\_VNDUSD: el cierre del índice de la bolsa de Hanói, expresado según su contravalor en dólares.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- HNX30\_VOLUME\_VNDUSD: el volumen total negociado en el día del índice de la bolsa de Hanói, expresado según su contravalor en dólares.
- HNX30\_SMAVG\_VNDUSD: media móvil del índice de la bolsa de Hanói, expresado según su contravalor en dólares.
- HSI\_CLOSE\_HKDUSD: el cierre del índice Hong Kong Hang Seng, expresado según su contravalor en dólares.
- HSI\_VOLUME\_HKDUSD: el volumen total negociado en el día del índice Hong Kong Hang Seng, expresado según su contravalor en dólares.
- HSI\_SMAVG\_HKDUSD: media móvil del índice Hong Kong Hang Seng, expresado según su contravalor en dólares.
- FTSEMIB\_CLOSE\_EURUSD: el cierre del índice FTSE MIB cotizado en la bolsa italiana, expresado según su contravalor en dólares.
- FTSEMIB\_VOLUME\_EURUSD: el volumen total negociado en el día del índice FTSE MIB, expresado según su contravalor en dólares.
- FTSEMIB\_SMAVG\_EURUSD: media móvil del índice FTSE MIB, expresado según su contravalor en dólares.
- XIN9I\_CLOSE\_CNYUSD: el cierre del índice FTSE China A50, expresado según su contravalor en dólares.
- XIN9I\_VOLUME\_CNYUSD: el volumen total negociado en el día del índice FTSE China A50, expresado según su contravalor en dólares.
- XIN9I\_SMAVG\_CNYUSD: media móvil del índice FTSE China A50, expresado según su contravalor en dólares.
- SX5E\_CLOSE\_EURUSD: el cierre del índice EURO STOXX 50, expresado según su contravalor en dólares.
- SX5E\_VOLUME\_EURUSD: el volumen total negociado en el día del índice EURO STOXX 50, expresado según su contravalor en dólares.
- SX5E\_SMAVG\_EURUSD: media móvil del índice EURO STOXX 50, expresado según su contravalor en dólares.
- TIKI\_CLOSE\_USD: el cierre del índice TIKI.
- DAX\_CLOSE\_EURUSD: el cierre del índice Deutsche Boerse AG German Stock cotizado en la bolsa de Fráncfort, expresado según su contravalor en dólares.
- DAX\_VOLUME\_EURUSD: el volumen total negociado en el día del índice Deutsche Boerse AG German Stock, expresado según su contravalor en dólares.
- DAX\_SMAVG\_EURUSD: media móvil del índice Deutsche Boerse AG German Stock, expresado según su contravalor en dólares.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- CSEALL\_CLOSE\_LKRUSD: el cierre del índice Sri Lanka Colombo Stock Exchange All Share, expresado según su contravalor en dólares.
- CSEALL\_VOLUME\_LKRUSD: el volumen total negociado en el día del índice Sri Lanka Colombo Stock Exchange All Share, expresado según su contravalor en dólares.
- CSEALL\_SMAVG\_LKRUSD: media móvil del índice Sri Lanka Colombo Stock Exchange All Share, expresado según su contravalor en dólares.
- COLCAP\_CLOSE\_COPUSD: el cierre del índice Colombia COLCAP, expresado según su contravalor en dólares.
- COLCAP\_VOLUME\_COPUSD: el volumen total negociado en el día del índice Colombia COLCAP, expresado según su contravalor en dólares.
- COLCAP\_SMAVG\_COPUSD: media móvil del índice Colombia COLCAP, expresado según su contravalor en dólares.
- CAC\_CLOSE\_EURUSD: el cierre del índice CAC 40 cotizado en Euronext París, expresado según su contravalor en dólares.
- CAC\_VOLUME\_EURUSD: el volumen total negociado en el día del índice CAC 40, expresado según su contravalor en dólares.
- CAC\_SMAVG\_EURUSD: media móvil del índice CAC 40, expresado según su contravalor en dólares.
- BUX\_CLOSE\_HUFUSD: el cierre del índice de la bolsa de Budapest, expresado según su contravalor en dólares.
- BUX\_VOLUME\_HUFUSD: el volumen total negociado en el día del índice de la bolsa de Budapest, expresado según su contravalor en dólares.
- BUX\_SMAVG\_HUFUSD: media móvil del índice de la bolsa de Budapest, expresado según su contravalor en dólares.
- SENSEX\_CLOSE\_INRUSD: el cierre del índice S&P BSE SENSEX cotizado en la bolsa de Bombay, expresado según su contravalor en dólares.
- SENSEX\_VOLUME\_INRUSD: el volumen total negociado en el día del índice S&P BSE SENSEX, expresado según su contravalor en dólares.
- SENSEX\_SMAVG\_INRUSD: media móvil del índice S&P BSE SENSEX, expresado según su contravalor en dólares.
- IBOV\_CLOSE\_BRLUSD: el cierre del índice Ibovespa Brasil Sao Paulo Stock Exchange, expresado según su contravalor en dólares.
- IBOV\_VOLUME\_BRLUSD: el volumen total negociado en el día del índice Ibovespa Brasil Sao Paulo Stock Exchange, expresado según su contravalor en dólares.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- IBOV\_SMAVG\_BRLUSD: media móvil del índice Ibovespa Brasil Sao Paulo Stock Exchange, expresado según su contravalor en dólares.
  - XU100\_CLOSE\_TRYUSD: el cierre del índice Borsa Istanbul 100, expresado según su contravalor en dólares.
  - XU100\_VOLUME\_TRYUSD: el volumen total negociado en el día del índice Borsa Istanbul 100, expresado según su contravalor en dólares.
  - XU100\_SMAVG\_TRYUSD: media móvil del índice Borsa Istanbul 100, expresado según su contravalor en dólares.
  - BEL20\_CLOSE\_EURUSD: el cierre del índice BEL 20 cotizado en Bruselas, expresado según su contravalor en dólares.
  - BEL20\_VOLUME\_EURUSD: el volumen total negociado en el día del índice BEL 20, expresado según su contravalor en dólares.
  - BEL20\_SMAVG\_EURUSD: media móvil del índice BEL 20, expresado según su contravalor en dólares.
  - ATX\_CLOSE\_EURUSD: el cierre del índice Vienna Stock Exchange Austrian Traded, expresado según su contravalor en dólares.
  - ATX\_VOLUME\_EURUSD: el volumen total negociado en el día del índice Vienna Stock Exchange Austrian Traded, expresado según su contravalor en dólares.
  - ATX\_SMAVG\_EURUSD: media móvil del índice Vienna Stock Exchange Austrian Traded, expresado según su contravalor en dólares.
  - AEX\_CLOSE\_EURUSD: el cierre del índice AEX cotizado en Euronext Ámsterdam, expresado según su contravalor en dólares.
  - AEX\_VOLUME\_EURUSD: el volumen total negociado en el día del índice AEX, expresado según su contravalor en dólares.
  - AEX\_SMAVG\_EURUSD: media móvil del índice AEX, expresado según su contravalor en dólares.
- Variables de tipo de interés: los tipos de interés juegan un papel capital en la economía, determinan lo que podría expresarse en términos sencillos como “el precio del dinero”, en otras palabras, a qué precio se presta el dinero. Los índices de referencia sirven para fijar desde el precio de las hipotecas y préstamos a particulares, hasta grandes préstamos sindicados a empresas multinacionales, pasando por complejos instrumentos derivados como *swaps*. Los tipos de interés se fijan desde los bancos centrales, pueden ser fijados de manera “autónoma”, es decir, vienen determinados por el comportamiento del mercado a través de una fórmula como es el caso del Euribor, o bien pueden fijarse directamente por los expertos encargados de tomar decisiones del banco central, como ocurre en el Departamento del Tesoro Americano. En el

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

caso de que se fijen por la vía automática, lo que reflejan en esencia es el tipo medio en un plazo determinado por el cual los bancos del panel<sup>6</sup> se prestan depósitos interbancarios (en la práctica la metodología es más compleja, y admite diversas formas de contribuir al índice). Al cierre de la actividad financiera de un día, un banco, que realiza miles de operaciones diarias, debe cerrar su posición y asegurarse de que sus cuentas estén neteadas<sup>7</sup>, y muy habitualmente se encontrarán que tienen exceso o defecto de liquidez, y para ello prestan o piden prestado, con el fin de dejar su balance a cero.

En este estudio, se han tenido en cuenta los principales tipos de interés; el europeo (Euribor y eonia), británico (libor), el japonés y el americano. Así como sus respectivos plazos:

- EONIA\_IR\_CLOSE: el tipo de interés Eonia expresa el tipo medio de interés en los depósitos interbancarios en operaciones efectuadas durante la noche.
- euribor\_IR\_1W\_CLOSE: el índice Euribor en el tenor de una semana.
- euribor\_IR\_2W\_CLOSE: el índice Euribor en el tenor de dos semanas. Descontinuado desde el 3 de diciembre de 2018.
- euribor\_IR\_3W\_CLOSE: el índice Euribor en el tenor de tres semanas. Descontinuado desde el 3 de diciembre de 2018.
- euribor\_IR\_1M\_CLOSE: el índice Euribor en el tenor de un mes.
- euribor\_IR\_2M\_CLOSE: el índice Euribor en el tenor de dos meses. Descontinuado desde el 3 de diciembre de 2018.
- euribor\_IR\_3M\_CLOSE: el índice Euribor en el tenor de tres meses.
- euribor\_IR\_4M\_CLOSE: el índice Euribor en el tenor de cuatro meses. Descontinuado desde el 3 de diciembre de 2018.
- euribor\_IR\_5M\_CLOSE: el índice Euribor en el tenor de cinco meses. Descontinuado desde el 3 de diciembre de 2018.
- euribor\_IR\_6M\_CLOSE: el índice Euribor en el tenor de seis meses.
- euribor\_IR\_7M\_CLOSE: el índice Euribor en el tenor de siete meses. Descontinuado desde el 3 de diciembre de 2018.
- euribor\_IR\_8M\_CLOSE: el índice Euribor en el tenor de ocho meses. Descontinuado desde el 3 de diciembre de 2018.

---

<sup>6</sup> Bancos del panel: principales bancos en el sistema financiero.

<sup>7</sup> Netear: Se conoce como "netear" al proceso de compensación interno de deudas y créditos de una empresa, con el que se determina su estado de Tesorería y sus ratios reales de endeudamiento y liquidez.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- euribor\_IR\_9M\_CLOSE: el índice Euribor en el tenor de nueve meses. Descontinuado desde el 3 de diciembre de 2018.
- euribor\_IR\_10M\_CLOSE: el índice Euribor en el tenor de diez meses. Descontinuado desde el 3 de diciembre de 2018.
- euribor\_IR\_11M\_CLOSE: el índice Euribor en el tenor de once meses. Descontinuado desde el 3 de diciembre de 2018.
- euribor\_IR\_12M\_CLOSE: el índice Euribor en el tenor de doce meses.
- US\_FEDERAL\_RESERVE\_IR\_H15\_1M: el tipo de interés de la Reserva Federal Americana para el tenor un mes.
- US\_FEDERAL\_RESERVE\_IR\_H15\_3M: el tipo de interés de la Reserva Federal Americana para el tenor tres meses.
- US\_FEDERAL\_RESERVE\_IR\_H15\_6M: el tipo de interés de la Reserva Federal Americana para el tenor seis meses.
- US\_FEDERAL\_RESERVE\_IR\_H15\_1Y: el tipo de interés de la Reserva Federal Americana para el tenor un año.
- US\_FEDERAL\_RESERVE\_IR\_H15\_2Y: el tipo de interés de la Reserva Federal Americana para el tenor dos años.
- US\_FEDERAL\_RESERVE\_IR\_H15\_3Y: el tipo de interés de la Reserva Federal Americana para el tenor tres años.
- US\_FEDERAL\_RESERVE\_IR\_H15\_5Y: el tipo de interés de la Reserva Federal Americana para el tenor cinco años.
- US\_FEDERAL\_RESERVE\_IR\_H15\_7Y: el tipo de interés de la Reserva Federal Americana para el tenor siete años.
- US\_FEDERAL\_RESERVE\_IR\_H15\_10Y: el tipo de interés de la Reserva Federal Americana para el tenor diez años.
- US\_FEDERAL\_RESERVE\_IR\_H15\_20Y: el tipo de interés de la Reserva Federal Americana para el tenor veinte años.
- US\_FEDERAL\_RESERVE\_IR\_H15\_30Y: el tipo de interés de la Reserva Federal Americana para el tenor treinta años.
- LIBOR\_JPY\_INTEREST\_RATE\_1W: el tipo de interés del Banco Central de Japón para el tenor una semana.
- LIBOR\_JPY\_INTEREST\_RATE\_1M: el tipo de interés del Banco Central de Japón para el tenor un mes.
- LIBOR\_JPY\_INTEREST\_RATE\_2M: el tipo de interés del Banco Central de Japón para el tenor dos meses.
- LIBOR\_JPY\_INTEREST\_RATE\_3M: el tipo de interés del Banco Central de Japón para el tenor tres meses.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- LIBOR\_JPY\_INTEREST\_RATE\_6M: el tipo de interés del Banco Central de Japón para el tenor seis meses.
  - LIBOR\_JPY\_INTEREST\_RATE\_1Y: el tipo de interés del Banco Central de Japón para el tenor un año.
  - LIBOR\_GBP\_INTEREST\_RATE\_OVERNIGHT: el tipo de interés para la libra esterlina británica para el mercado nocturno.
  - LIBOR\_GBP\_INTEREST\_RATE\_1W: el tipo de interés para la libra esterlina británica para el tenor una semana.
  - LIBOR\_GBP\_INTEREST\_RATE\_1M: el tipo de interés para la libra esterlina británica para el tenor un mes.
  - LIBOR\_GBP\_INTEREST\_RATE\_6M: el tipo de interés para la libra esterlina británica para el tenor seis meses.
  - LIBOR\_GBP\_INTEREST\_RATE\_1Y: el tipo de interés para la libra esterlina británica para el tenor un año.
  - LIBOR\_GBP\_INTEREST\_RATE\_2M: el tipo de interés para la libra esterlina británica para el tenor dos meses.
  - LIBOR\_GBP\_INTEREST\_RATE\_3M: el tipo de interés para la libra esterlina británica para el tenor tres meses.
- Otras variables descriptivas del mercado financiero de interés. Las siguientes variables no se ajustan a la definición de los grupos anteriores, pero son de gran interés por su naturaleza. Hay variables de índole macroeconómica en el ámbito americano como tasas de empleo, también algunos valores en específico, que son históricos, como la cotización de las principales compañías petroleras, y otras como índices de rentabilidad de bonos de un mercado específico, etc. Como ya se ha mencionado anteriormente, algunas de estas variables, lamentablemente se epublican mensualmente y no diariamente, especialmente las mencionadas como macroeconómicas. En estos casos el dato se ha grabado como constante en su período de vigencia.
- WTI\_US\_EQUITY\_CLOSE\_USD: cierre del valor de la acción de la empresa petrolera W&T.
  - BRENT\_OIL\_FUTURES\_DERIVATIVES\_CLOSE\_USD: cierre del precio del futuro cuyo subyacente es la acción de la empresa petrolera Brent Oil.
  - BRENT\_OIL\_FUTURES\_DERIVATIVES\_OPEN\_USD: apertura del precio del futuro cuyo subyacente es la acción de la empresa petrolera Brent Oil.
  - BRENT\_OIL\_FUTURES\_DERIVATIVES\_HIGH\_USD: máximo del precio del futuro cuyo subyacente es la acción de la empresa petrolera Brent Oil.
  - BRENT\_OIL\_FUTURES\_DERIVATIVES\_LOW\_USD : mínimo del precio del futuro cuyo subyacente es la acción de la empresa petrolera Brent Oil.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- BNO\_US\_EQUITY\_CLOSE\_USD: cierre del precio de cotización del fondo de inversión Breent Oil.
- SPXFAST\_INDEX\_CLOSE: cierre del ETF del S&P 500.
- SPXT\_INDEX\_TOTAL\_RETURN\_CLOSE: cierre del retorno total del índice S&P 500.
- VXX\_US\_EQUITY\_CLOSE\_USD: cierre del futuro a corto plazo I PATH sobre el VIX.
- SP1\_INDEX\_CLOSE: cierre del futuro sobre el ETF del S&P 500.
- ASDZ9\_INDEX\_CLOSE: cierre del fondo de inversión sobre el S&P 500 que paga dividendos y exige una permanencia de 10 años.
- SPEURO\_INDEX\_CLOSE\_EURUSD: cierre del índice S&P Euro, expresado en dólares.
- MUNIPSA\_INDEX\_WEEKLY\_USD: índice semanal del rendimiento de los swap de SIFMA Municipal.
- ADP\_YOYL\_INDEX\_MONTHLY\_national\_employment\_report: indicador mensual de la tasa nacional de empleo.
- BPBSCILN\_INDEX\_TRIMESTER\_USD: indicador trimestral del empleo en el sector servicios.
- BLTBBCB\_INDEX\_MONTHLY\_: indicador mensual del empleo público.
- INJCJNS\_INDEX\_WEEKLY: indicador semanal del empleo privado.
- USMMMCH\_INDEX\_MONTHLY: índice mensual de la tasa de empleo manufacturada no agrícola industrial.
- NFP\_TCH\_INDEX\_MONTHLY\_NONFARM\_PAYROLLS: índice mensual de la tasa de empleo manufacturada no agrícola tecnológica.
- USTBTOT\_INDEX\_MONTHLY\_USD: índice mensual de la balanza comercial americana.
- USCABAL\_INDEX\_TRIMESTER\_USD: balance contable nominal trimestral americano en billones de dólares.
- EQRIUS\_INDEX\_WEEKLY: índice semanal del precio del consumo.
- PUBLDEBT\_INDEX\_USD: índice de la deuda pública americana.
- GddbUNST\_INDEX\_ANUAL: índice anual de la deuda pública canadiense.
- GddbCHIN\_INDEX\_ANUAL: índice anual de la deuda pública china.
- GddbJAPN\_INDEX\_ANUAL: índice anual de la deuda pública japonesa.
- GddbGERM\_INDEX\_ANUAL: índice anual de la deuda pública alemana.
- EUDB60UK\_INDEX\_ANUAL: índice anual de la deuda pública británica.
- GddbFRAN\_INDEX\_ANUAL: índice anual de la deuda pública francesa.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

- GDDBRUSS\_INDEX\_ANUAL: índice anual de la deuda pública rusa.
- GRUEPEMP\_INDEX\_MONTHLY: índice mensual del empleo ruso.
- BIRTEUK\_INDEX\_MONTHLY: tasa mensual del empleo británico.
- JNUEMPLY\_INDEX\_MONTHLY: tasa mensual de empleo japonés.
- CPMIEMPL\_INDEX\_MONTHLY: tasa mensual del empleo chino.
- CHCADNCB\_INDEX\_MONTHLY: índice mensual del empleo público chino.
- UX1\_INDEX\_CLOSE\_USD: cierre del futuro sobre el VIX.
- UX1\_INDEX\_VOLUME\_USD: volumen del futuro sobre el VIX.
- UX1\_INDEX\_SMAVG\_USD: media móvil del futuro sobre el VIX.
- USGG10YR\_INDEX\_CLOSE\_USD: índice de los bonos americanos a 10 años.
- GDBR10\_INDEX\_EUR: índice de los bonos alemanes a 10 años, en euros.
- GUKG10\_INDEX\_CLOSE\_GBP: índice de los bonos ingleses a 10 años, en libras.
- CHCA80\_INDEX\_CLOSE\_CNY: índice de los bonos chinos, expresado en yuanes.
- JYGGBE10\_INDEX\_CLOSE\_JPYUSD: índice de bonos japoneses a 10 años, expresado en dólares.
- RGBI\_INDEX\_CLOSE\_RUBUSD: índice de bonos rusos a 10 años, expresado en dólares.
- GIND10YR\_INDEX\_CLOSE\_INR: el cierre de la oferta para bonos indios a 10 años, expresado en rupias.
- BACMO\_INDEX\_CLOSE\_AUDUSD: índice Bloomberg compuesto para los bonos australianos de un año o más, expresado en dólares.
- VRTBT10\_INDEX\_CLOSE\_MXNUSD: índice del rendimiento de los dividendos de los bonos mejicanos a 10 años, expresado en dólares.
- GCAN10YR\_INDEX\_CLOSE\_CADUSD: índice del valor de los bonos canadienses a 10 años, expresado en dólares.
- US\_EMPLOYMENT\_POPULATION\_TOTAL\_RATIO\_LABOR\_FORCE\_MONTHLY: la tasa de empleo mensual de mano de obra.
- US CONSUMER PRICE INDEX ANNUAL: el índice anual del precio de consumo de los Estados Unidos.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

### 13.2. Glosario

**Nasdaq 100:** Nasdaq 100 Index (en español, Índice Nasdaq 100) es un índice bursátil de Estados Unidos que recoge a los 100 valores de las compañías más importantes del sector de la industria de la tecnología incluyendo empresas de hardware y de software, las telecomunicaciones, venta al por menor/por mayor y biotecnología inscritos en la Bolsa de Nueva York (NYSE), listadas en el Nasdaq Stock Market. En el índice pueden estar tanto empresas americanas como internacionales.

**Russell 2000:** El índice Russell 2000 es un índice que mide el desempeño de aproximadamente 2,000 compañías de pequeña capitalización en el Índice Russell 3000, el cual se compone de 3,000 de las acciones más grandes de los Estados Unidos. El Russell 2000 sirve como un punto de referencia para las acciones de pequeña capitalización en los Estados Unidos.

**Dow Jones Industrial Average:** Promedio Industrial Dow Jones es la expresión con la que se puede traducir al español el nombre del Dow Jones Industrial Average (abreviado DJIA o Dow-30, informalmente Dow Jones o Dow), uno de muchos índices bursátiles creados por Charles Henry Dow, editor del periódico The Wall Street Journal durante el siglo XIX y co-fundador de la empresa Dow Jones & Company. Mide el desempeño de las 30 mayores sociedades anónimas que cotizan en el mercado bursátil de Estados Unidos.

**S&P 500:** El índice Standard & Poor's 500 (Standard & Poor's 500 Index) también conocido como S&P 500 es uno de los índices bursátiles más importantes de Estados Unidos. Al S&P 500 se lo considera el índice más representativo de la situación real del mercado. El índice se basa en la capitalización bursátil de 500 grandes empresas que poseen acciones que cotizan en las bolsas NYSE o NASDAQ, el índice captura aproximadamente el 80% de toda la capitalización de mercado en Estados Unidos. Los componentes del índice S&P 500 y su ponderación son determinados por S&P Dow Jones Indices. Se diferencia de otros índices de mercados financieros de Estados Unidos, tales como el Dow Jones Industrial Average o el índice Nasdaq Composite, en la diversidad de los rubros que lo conforman y en su metodología de ponderación. Es uno de los índices de valores más seguidos, y muchas personas lo consideran el más representativo del mercado de acciones de Estados Unidos, y el marcador de tendencias de la economía norteamericana.<sup>1</sup> El National Bureau of Economic Research ha clasificado a las acciones comunes como un indicador relevante de los ciclos de negocios.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

**S&P 100:** S&P 100 es un índice bursátil de los Estados Unidos. Está compuesto por las 100 empresas de mayor tamaño que cotizan en las bolsas de los Estados Unidos en el índice S&P 500. Es el índice de referencia que utiliza la empresa Standard & Poor's, una de las tres agencias más importantes de calificación de crédito.

**Wall Street Journal:** The Wall Street Journal es un periódico estadounidense enfocado en economía y negocios, escrito en inglés, de carácter internacional y con sede en la ciudad de Nueva York. El Journal, junto con sus ediciones para Asia y Europa, es publicado 6 veces a la semana por Dow Jones & Company, una división de News Corp.

**Barron's:** Barron's es una revista / periódico semanal estadounidense publicado por Dow Jones & Company, una división de News Corp. Fundada en 1921 por Clarence W. Barron como una publicación hermana de The Wall Street Journal, Barron's cubre información financiera de EE. UU., Desarrollos de mercado y relevantes estadística.

**CNBC:** CNBC (oficialmente: the Consumer News and Business Channel hasta 1991)<sup>1</sup> es un canal de televisión por satélite y cable sobre noticias de economía en los Estados Unidos perteneciente y operado por NBCUniversal. En 2007, alcanzó una audiencia combinada de 390 millones de telespectadores. El valor económico de su difusión por cable se estima en aprox. 4000 millones de dólares.

**Bloomberg:** Bloomberg LP Limited Partnership es una compañía estadounidense de asesoría financiera, así como software, data y media bursátil. Tiene una tercera parte del mercado, similar a Thomson Reuters. Bloomberg LP fue fundada en 1981 por Michael Bloomberg (anterior alcalde de la ciudad de Nueva York) con la ayuda de Thomas Secunda otros socios y antiguos compañeros de trabajo de Michael Bloomberg en Salomon Brothers, con la ayuda de un 20% de inversión de Merrill Lynch.

**CNN/Money:** CNNMoney.com es una website de la cadena CNN centrada en la economía y el mundo empresarial. La web fue creada por Chris Peacock junto con tres accionistas del grupo Fortune Money Group. Según Nielsen/NetRatings, la web recibe la visita de 10,8 millones al mes.

**Goldman Sachs:** El Grupo Goldman Sachs (The Goldman Sachs Group, Inc.) o simplemente Goldman Sachs (GS) es uno de los grupos de banca de inversión y de valores más grande del mundo. Fue fundado en 1869. Durante la crisis financiera de Estados Unidos del 2008 y ante la posibilidad de afrontar la bancarrota, el 21 de septiembre de 2008, Goldman Sachs recibió la autorización por la Reserva Federal (FED) para dejar de ser un banco de inversión y convertirse en un banco comercial.

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

**Traders:** Un trader es una persona que compra y vende activos financieros en cualquier mercado financiero con el objetivo de beneficiarse de las operaciones de trading.

**ETF's:** Un exchange-traded fund (ETF por sus siglas en inglés), o fondo de inversión cotizado, es un fondo de inversión cuya principal característica es que se negocia en mercados secundarios de valores. La comercialización de estos productos supone un desafío desde dentro del mercado financiero a su propia ineficiencia, pues se trata de un producto óptimo en cuanto a asignación de activos (por su elevado grado de diversificación), simplicidad a la hora de operar (igual de ágil que las acciones) y costes (es más barato que los fondos de inversión).

**ETN's:** Un ETN es un producto similar a los ETFs. Se trata de una deuda senior subordinada emitida por una entidad financiera cuyo objetivo es proporcionar al inversor otra forma de inversión similar a la de un fondo cotizado. No son acciones ni son ETFs, aunque poseen características similares a estos dos activos. Por ejemplo, al igual que las acciones, cotizan en los mercados en tiempo real y, al igual que un ETF, replican el comportamiento de índices. La estructura que posee un ETN es similar a la de un producto estructurado mediante el cual el inversor compra un activo financiero que cotiza en bolsa y que replica un índice de forma diaria en tiempo real. Tiene un vencimiento (normalmente a muy largo plazo) y en esta fecha de vencimiento se abona al inversor la revalorización del índice correspondiente.

**CMTs:** técnicas de gestión del capital.

**Swap:** Un swap, o permuta financiera, es un contrato por el cual dos partes se comprometen a intercambiar una serie de cantidades de dinero en fechas futuras. Normalmente los intercambios de dinero futuros están referenciados a tipos de interés, llamándose IRS (Interest Rate Swap) aunque de forma más genérica se puede considerar un swap cualquier intercambio futuro de bienes o servicios (entre ellos de dinero) referenciado a cualquier variable observable.

**Barclays:** Barclays PLC es una compañía de servicios financieros con sede en Londres, que opera a nivel mundial. Es un holding que cotiza en la Bolsa de Londres, la Bolsa de Nueva York y la Bolsa de Tokio. Actúa a través de su subsidiaria Barclays Bank PLC.

**IG:** IG Group es un bróker británico de los mercados de valores. Fue fundado en 1974 y provee servicios de trading en derivados financieros, en especial CFD's y spread betting. Tiene su sede principal en Londres, Inglaterra. IG está regulada por la Financial Conduct Authority, la autoridad financiera británica .

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

## 13.3. Apéndice del conjunto de datos completo en el cálculo del VIX

A continuación se exponen las tablas con la información completa utilizada para calcular el VIX en el apartado 2.

Strike	Near-Term Options			
	Calls		Puts	
	Bid	Ask	Bid	Ask
800	1180.90	1184.40	0.00	0.10
900	1080.90	1084.50	0.00	0.10
1000	981.00	984.50	0.00	0.10
1050	911.00	914.50	0.00	0.10
1100	861.00	864.60	0.00	0.05
1125	836.00	839.60	0.00	0.05
1150	811.00	814.60	0.00	0.05
1175	786.10	789.60	0.00	0.05
1200	761.10	764.60	0.00	0.05
1220	741.10	744.60	0.00	0.10
1225	736.10	739.60	0.00	0.05
1240	721.10	724.60	0.00	0.10
1250	711.10	714.60	0.00	0.05
1260	701.10	704.60	0.00	0.10
1270	691.10	694.60	0.00	0.10
1275	686.10	689.60	0.00	0.10
1280	681.10	684.60	0.00	0.10
1290	671.10	674.70	0.00	0.10
1300	661.10	664.70	0.05	0.10
1305	656.10	659.70	0.00	0.10
1310	651.10	654.70	0.00	0.10
1315	646.10	649.70	0.00	0.10
1320	641.20	644.70	0.00	0.10
1325	636.20	639.70	0.05	0.10
1330	631.20	634.70	0.00	0.10
1335	626.20	629.70	0.00	0.15
1340	621.20	624.70	0.00	0.15
1345	616.20	619.70	0.00	0.15
1350	611.20	614.70	0.05	0.15
1355	606.20	609.70	0.05	0.35
1360	601.20	604.70	0.00	0.35
1365	596.20	599.70	0.00	0.35
1370	591.20	594.70	0.05	0.35
1375	586.20	589.70	0.10	0.15
1380	581.20	584.70	0.10	0.20
1385	576.20	579.70	0.10	0.35
1390	571.20	574.70	0.10	0.35
1395	566.20	569.70	0.10	0.15
1400	561.20	564.80	0.10	0.15
1405	556.20	559.80	0.00	0.35
1410	551.20	554.80	0.05	0.40
1415	546.20	549.80	0.00	0.40
1420	541.20	544.80	0.05	0.40
1425	536.30	539.80	0.15	0.20

Strike	Next-Term Options			
	Calls		Puts	
	Bid	Ask	Bid	Ask
1225	735.90	738.80	0.00	0.10
1250	710.80	713.80	0.00	0.10
1275	686.00	688.70	0.05	0.10
1300	660.90	663.80	0.00	0.10
1325	635.90	638.60	0.10	0.20
1350	610.90	613.60	0.10	0.20
1375	585.90	588.70	0.10	0.25
1400	561.00	563.70	0.15	0.25
1425	536.00	538.80	0.20	0.30
1450	511.10	513.80	0.25	0.35
1475	486.10	488.90	0.30	0.40
1500	461.20	464.00	0.35	0.45
1510	451.30	454.00	0.35	0.50
1520	441.30	444.00	0.40	0.50
1525	436.30	439.10	0.40	0.55
1530	431.30	434.10	0.45	0.55
1540	421.40	424.10	0.45	0.60
1550	411.40	414.20	0.50	0.60
1555	406.40	409.20	0.50	0.65
1560	401.40	404.20	0.55	0.65
1565	396.50	399.20	0.55	0.70
1570	391.20	394.00	0.60	0.70
1575	386.50	389.30	0.60	0.75
1580	381.50	384.30	0.60	0.75
1585	376.60	379.30	0.65	0.75
1590	371.30	374.10	0.65	0.80
1595	366.60	369.40	0.70	0.80
1600	361.60	364.40	0.70	0.85
1605	356.70	359.40	0.75	0.85
1610	351.70	354.50	0.75	0.90
1615	346.70	349.50	0.80	0.90
1620	341.80	344.50	0.80	0.95
1625	336.80	339.50	0.85	0.95
1630	331.80	334.60	0.90	1.00

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

Near-Term Options (cont.)				
Strike	Calls		Puts	
	Bid	Ask	Bid	Ask
1430	531.30	534.90	0.05	0.40
1435	528.30	529.90	0.15	0.40
1440	521.30	524.90	0.05	0.30
1445	518.30	519.90	0.05	0.40
1450	511.30	514.90	0.15	0.25
1455	506.30	509.90	0.05	0.45
1460	501.30	504.90	0.05	0.45
1465	496.30	499.90	0.05	0.45
1470	491.30	494.90	0.05	0.45
1475	486.30	489.90	0.15	0.25
1480	481.30	484.90	0.05	0.45
1485	476.30	479.90	0.20	0.50
1490	471.30	474.90	0.05	0.30
1495	466.40	469.90	0.05	0.50
1500	461.40	464.90	0.25	0.40
1505	456.40	459.90	0.30	0.35
1510	451.40	454.90	0.05	0.55
1515	446.40	449.90	0.05	0.55
1520	441.40	445.00	0.10	0.60
1525	436.40	440.00	0.30	0.40
1530	431.40	435.00	0.05	0.60
1535	426.40	430.00	0.10	0.65
1540	421.40	425.00	0.10	0.65
1545	416.50	420.00	0.10	0.65
1550	411.50	415.00	0.30	0.70
1555	406.50	410.10	0.15	0.70
1560	401.50	405.10	0.15	0.70
1565	396.50	400.10	0.15	0.70
1570	391.50	395.10	0.20	0.75
1575	386.50	390.10	0.35	0.75
1580	381.50	385.10	0.25	0.80
1585	376.60	380.20	0.25	0.80
1590	371.60	375.20	0.25	0.80
1595	366.60	370.20	0.25	0.80
1600	361.60	365.20	0.50	0.85
1605	356.60	360.30	0.30	0.85
1610	351.60	355.30	0.35	0.90
1615	346.70	350.30	0.35	0.90
1620	341.70	345.30	0.35	0.90
1625	336.70	340.40	0.40	0.95
1630	331.70	335.40	0.40	0.95
1635	326.70	330.40	0.45	1.00
1640	321.80	325.40	0.45	1.00
1645	316.80	320.50	0.50	1.05
1650	311.80	315.50	0.50	0.85
1655	306.80	310.50	0.55	1.10
1660	301.90	305.60	0.55	1.10
1665	296.90	300.60	0.60	1.15

Next-Term Options (cont.)				
Strike	Calls		Puts	
	Bid	Ask	Bid	Ask
1635	328.90	329.60	0.90	1.05
1640	321.90	324.70	0.95	1.05
1645	316.90	319.70	0.95	1.10
1650	312.00	314.70	1.00	1.15
1655	307.00	309.80	1.05	1.15
1660	302.10	304.80	1.10	1.20
1665	297.10	299.90	1.15	1.25
1670	292.20	294.90	1.15	1.30
1675	287.20	289.90	1.20	1.35
1680	282.30	285.00	1.25	1.40
1685	277.30	280.10	1.30	1.45
1690	272.40	275.10	1.35	1.50
1695	267.40	270.20	1.40	1.55
1700	262.50	265.20	1.45	1.60
1705	257.50	260.30	1.50	1.70
1710	252.60	255.30	1.60	1.75
1715	247.70	250.40	1.65	1.80
1720	242.70	245.50	1.70	1.90
1725	237.80	240.60	1.75	1.95
1730	232.90	235.60	1.85	2.00
1735	228.00	230.70	1.90	2.10
1740	223.00	225.30	2.00	2.20
1745	218.50	220.40	2.10	2.25
1750	213.60	215.50	2.20	2.35
1755	208.70	210.60	2.30	2.45
1760	203.80	205.70	2.40	2.55
1765	198.90	200.80	2.50	2.65
1770	194.00	195.90	2.65	2.80
1775	189.10	191.00	2.75	2.90
1780	184.20	186.10	2.85	3.10
1785	179.30	181.20	3.00	3.20
1790	174.40	176.30	3.10	3.40
1795	169.50	171.40	3.30	3.60
1800	164.60	166.50	3.50	3.70
1805	160.10	161.60	3.70	3.90
1810	155.30	156.70	3.80	4.10
1815	150.50	152.00	4.10	4.30
1820	145.70	147.20	4.30	4.50
1825	140.90	142.40	4.50	4.80
1830	136.20	137.70	4.80	5.00
1835	131.50	133.00	5.00	5.30
1840	126.80	128.20	5.30	5.60
1845	122.10	123.50	5.60	5.90
1850	117.40	118.80	5.90	6.20
1855	112.70	114.20	6.30	6.60
1860	108.00	109.60	6.60	6.90
1865	103.30	105.00	7.00	7.30
1870	99.00	100.40	7.50	7.80

Near-Term Options (cont.)				
Strike	Calls		Puts	
	Bid	Ask	Bid	Ask
1670	291.90	295.70	0.80	1.15
1675	287.00	290.70	0.85	1.20
1680	282.00	285.70	0.70	1.25
1685	277.00	280.80	0.75	1.30
1690	272.10	275.80	0.75	1.30
1695	267.10	270.90	0.80	1.35
1700	262.10	265.90	0.85	1.40
1705	257.20	261.00	0.85	1.40
1710	252.20	256.00	0.90	1.45
1715	247.30	251.10	0.95	1.50
1720	242.30	246.10	1.00	1.55
1725	237.40	241.20	1.05	1.60
1730	232.40	236.30	1.10	1.65
1735	227.50	231.30	1.15	1.70
1740	222.50	226.40	1.20	1.75
1745	217.60	221.50	1.25	1.85
1750	212.60	216.60	1.30	1.90
1755	207.70	211.60	1.40	1.95
1760	202.80	206.70	1.45	2.05
1765	197.80	201.80	1.50	2.15
1770	192.90	196.90	1.60	2.20
1775	188.00	192.00	1.65	2.35
1780	183.10	187.10	1.75	2.40
1785	178.20	182.20	1.85	2.50
1790	173.30	177.30	1.90	2.60
1795	168.40	172.40	2.00	2.75
1800	163.50	167.50	2.15	2.90
1805	158.60	162.60	2.25	3.00
1810	153.80	157.80	2.35	3.20
1815	148.90	152.90	2.50	3.40
1820	144.10	148.10	2.65	3.50
1825	139.20	143.30	3.00	3.60
1830	134.40	138.40	3.00	3.90
1835	129.60	133.60	3.20	4.10
1840	124.80	128.80	3.40	4.40
1845	120.10	124.10	3.60	4.60
1850	115.40	119.30	3.80	4.90
1855	110.60	114.60	4.10	5.20
1860	105.90	109.90	4.40	5.50
1865	101.30	105.20	4.70	5.80
1870	96.80	100.50	5.00	6.20
1875	92.00	95.90	5.40	6.60
1880	87.40	91.30	5.80	7.00
1885	82.90	86.70	6.20	7.50
1890	78.40	82.20	6.70	8.00
1895	74.00	77.70	7.20	8.60
1900	69.60	73.20	7.80	8.80
1905	66.00	68.50	8.50	9.50

Next-Term Options (cont.)				
Strike	Calls		Puts	
	Bid	Ask	Bid	Ask
1875	94.50	95.90	8.00	8.30
1880	90.00	91.40	8.40	8.80
1885	85.50	86.90	9.00	9.40
1890	81.10	82.50	9.50	10.00
1895	76.80	78.10	10.20	10.60
1900	72.40	73.70	10.90	11.30
1905	68.20	69.40	11.60	12.00
1910	64.00	65.20	12.40	12.80
1915	59.80	61.10	13.20	13.70
1920	55.70	57.00	14.20	14.60
1925	51.70	53.00	15.20	15.60
1930	47.80	49.10	16.20	16.60
1935	44.80	45.10	17.40	17.80
1940	40.80	41.30	18.60	19.00
1945	37.20	37.70	20.00	20.40
1950	33.70	34.40	21.40	21.80
1955	30.30	30.90	23.00	23.40
1960	27.00	27.60	24.70	25.10
1965	23.80	24.50	26.50	27.30
1970	20.80	21.40	28.50	29.40
1975	18.00	18.60	30.50	31.60
1980	15.50	15.90	33.00	34.00
1985	13.10	13.50	35.50	36.60
1990	10.90	11.30	38.40	39.50
1995	9.00	9.30	41.30	42.50
2000	7.20	7.60	44.50	45.80
2005	5.70	6.00	48.10	49.30
2010	4.50	4.80	51.70	53.00
2015	3.40	3.70	55.80	57.00
2020	2.60	2.80	59.90	61.70
2025	1.95	2.15	64.10	66.10
2030	1.45	1.65	68.60	70.60
2035	1.05	1.25	73.30	75.20
2040	0.80	0.95	78.00	80.00
2045	0.60	0.75	82.00	84.80
2050	0.50	0.65	86.90	89.60
2060	0.30	0.40	96.60	99.40
2070	0.20	0.30	106.70	109.50
2075	0.15	0.25	111.70	114.50
2100	0.10	0.20	136.30	139.10
2125	0.05	0.15	161.50	164.30
2150	0.05	0.15	186.30	189.00
2175	0.00	0.10	211.30	214.00
2200	0.05	0.10	236.30	239.00
2225	0.00	0.10	261.30	264.00
2250	0.00	0.10	286.30	289.00

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

Strike	Near-Term Options (cont.)			
	Calls		Puts	
	Bid	Ask	Bid	Ask
1910	61.60	64.10	9.10	10.20
1915	57.40	59.80	9.90	11.30
1920	53.30	55.80	10.70	12.10
1925	49.10	51.20	11.60	12.60
1930	45.20	47.30	12.50	14.00
1935	41.20	43.40	13.60	14.70
1940	37.40	39.50	14.70	15.80
1945	33.70	35.70	15.90	17.20
1950	30.10	32.10	17.70	18.80
1955	26.70	28.50	19.00	20.50
1960	23.40	25.10	20.60	22.00
1965	20.30	21.80	22.30	24.00
1970	17.40	18.80	24.30	25.80
1975	14.60	15.90	26.50	28.10
1980	12.20	13.30	28.90	30.60
1985	9.90	11.00	31.40	33.20
1990	7.90	9.00	34.30	36.50
1995	6.20	7.10	37.40	39.70
2000	4.70	5.20	40.70	43.20
2005	3.40	4.20	44.00	47.70
2010	2.65	3.10	48.00	51.40
2015	1.75	2.30	52.20	56.00
2020	1.20	1.70	56.60	60.40
2025	1.00	1.25	61.20	65.00
2030	0.45	1.00	65.90	69.70
2035	0.25	0.80	70.70	74.40
2040	0.35	0.65	75.60	79.30
2045	0.20	0.60	80.50	84.10
2050	0.20	0.30	85.40	89.00
2055	0.15	0.50	90.40	94.00
2060	0.15	0.30	95.30	99.80
2065	0.15	0.20	100.30	103.90
2070	0.10	0.20	105.30	108.90
2075	0.10	0.20	110.30	113.80
2080	0.05	0.45	115.30	118.80
2085	0.05	0.40	120.30	123.80
2090	0.05	0.15	125.30	128.80
2095	0.05	0.35	130.30	133.80
2100	0.05	0.15	135.30	138.80
2120	0.00	0.15	155.30	158.80
2125	0.05	0.15	160.30	163.80
2150	0.00	0.10	185.20	188.80
2175	0.00	0.05	210.20	213.70
2200	0.00	0.05	235.20	238.70
2225	0.05	0.10	260.20	263.70
2250	0.00	0.05	285.20	288.70

Near term Strike	Option Type	Mid-quote Price	Delta-K	Contribution by Strike
1370	Put	0.200	5	0.000005528
1375	Put	0.125	5	0.000003306
1380	Put	0.150	5	0.000003938
1385	Put	0.225	5	0.000005865
1390	Put	0.225	5	0.000005823
1395	Put	0.125	5	0.000003212
1400	Put	0.125	7.5	0.000004783
1410	Put	0.225	10	0.000011318
1420	Put	0.225	7.5	0.000008389
1425	Put	0.175	5	0.000004309
1430	Put	0.225	5	0.000005502
1435	Put	0.275	5	0.000006677
1440	Put	0.175	5	0.000004220
1445	Put	0.225	5	0.000005388
1450	Put	0.200	5	0.000004756
1455	Put	0.250	5	0.000005905
1460	Put	0.250	5	0.000005864
1465	Put	0.250	5	0.000005824
1470	Put	0.250	5	0.000005785
1475	Put	0.200	5	0.000004596
1480	Put	0.250	5	0.000005707
1485	Put	0.350	5	0.000007936
1490	Put	0.175	5	0.000003941
1495	Put	0.275	5	0.000006152
1500	Put	0.325	5	0.000007222
1505	Put	0.325	5	0.000007174
1510	Put	0.300	5	0.000006579
1515	Put	0.300	5	0.000006535
1520	Put	0.350	5	0.000007575
1525	Put	0.350	5	0.000007525
1530	Put	0.325	5	0.000006942
1535	Put	0.375	5	0.000007958
1540	Put	0.375	5	0.000007906
1545	Put	0.375	5	0.000007855
1550	Put	0.500	5	0.000010406
1555	Put	0.425	5	0.000008788
1560	Put	0.425	5	0.000008732
1565	Put	0.425	5	0.000008676
1570	Put	0.475	5	0.000009635
1575	Put	0.550	5	0.000011086
1580	Put	0.525	5	0.000010515
1585	Put	0.525	5	0.000010449
1590	Put	0.525	5	0.000010384
1595	Put	0.525	5	0.000010319
1600	Put	0.675	5	0.000013184
1605	Put	0.575	5	0.000011161
1610	Put	0.625	5	0.000012056
1615	Put	0.625	5	0.000011982

Near term Strike	Option Type	Mid-quote Price	Delta-K	Contribution by Strike
1275	Put	0.075	50	0.000023069
1325	Put	0.150	37.5	0.000032041
1350	Put	0.150	25	0.000020577
1375	Put	0.175	25	0.000023141
1400	Put	0.200	25	0.000025511
1425	Put	0.250	25	0.000030779
1450	Put	0.300	25	0.000035673
1475	Put	0.350	25	0.000040219
1500	Put	0.400	17.5	0.000031112
1510	Put	0.425	10	0.000018640
1520	Put	0.450	7.5	0.000014608
1525	Put	0.475	5	0.000010213
1530	Put	0.500	7.5	0.000016020
1540	Put	0.525	10	0.000022138
1550	Put	0.550	7.5	0.000017170
1555	Put	0.575	5	0.000011890
1560	Put	0.600	5	0.000012328
1565	Put	0.625	5	0.000012759
1570	Put	0.650	5	0.000013185
1575	Put	0.675	5	0.000013606
1580	Put	0.675	5	0.000013520
1585	Put	0.700	5	0.000013932
1590	Put	0.725	5	0.000014339
1595	Put	0.750	5	0.000014741
1600	Put	0.775	5	0.000015137
1605	Put	0.800	5	0.000015528
1610	Put	0.825	5	0.000015914
1615	Put	0.850	5	0.000016295
1620	Put	0.875	5	0.000016671
1625	Put	0.900	5	0.000017042
1630	Put	0.950	5	0.000017878
1635	Put	0.975	5	0.000018237
1640	Put	1.000	5	0.000018591
1645	Put	1.025	5	0.000018940
1650	Put	1.075	5	0.000019743
1655	Put	1.100	5	0.000020081
1660	Put	1.150	5	0.000020867
1665	Put	1.200	5	0.000021644
1670	Put	1.225	5	0.000021963
1675	Put	1.275	5	0.000022723
1680	Put	1.325	5	0.000023474
1685	Put	1.375	5	0.000024215
1690	Put	1.425	5	0.000024947
1695	Put	1.475	5	0.000025670
1700	Put	1.525	5	0.000026385
1705	Put	1.600	5	0.000027520
1710	Put	1.675	5	0.000028642
1715	Put	1.725	5	0.000029325

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

Individual Contributions (Cont.)				
Near term Strike	Option Type	Mid-quote Price	Delta-K	Contribution by Strike
1620	Put	0.825	5	0.0000011908
1625	Put	0.875	5	0.0000012781
1630	Put	0.875	5	0.0000012703
1635	Put	0.725	5	0.0000013581
1640	Put	0.725	5	0.0000013478
1645	Put	0.775	5	0.0000014320
1650	Put	0.875	5	0.0000012397
1655	Put	0.825	5	0.0000015080
1660	Put	0.825	5	0.0000014870
1665	Put	0.875	5	0.0000015782
1670	Put	0.875	5	0.0000015688
1675	Put	0.925	5	0.0000016485
1680	Put	0.975	5	0.0000017273
1685	Put	1.025	5	0.0000018051
1690	Put	1.025	5	0.0000017944
1695	Put	1.075	5	0.0000018709
1700	Put	1.125	5	0.0000019464
1705	Put	1.125	5	0.0000019350
1710	Put	1.175	5	0.0000020092
1715	Put	1.225	5	0.0000020823
1720	Put	1.275	5	0.0000021549
1725	Put	1.325	5	0.0000022265
1730	Put	1.375	5	0.0000022972
1735	Put	1.425	5	0.0000023670
1740	Put	1.475	5	0.0000024360
1745	Put	1.550	5	0.0000025452
1750	Put	1.600	5	0.0000026123
1755	Put	1.675	5	0.0000027192
1760	Put	1.750	5	0.0000028248
1765	Put	1.825	5	0.0000029292
1770	Put	1.900	5	0.0000030324
1775	Put	2.000	5	0.0000031740
1780	Put	2.075	5	0.0000032746
1785	Put	2.175	5	0.0000034132
1790	Put	2.250	5	0.0000035112
1795	Put	2.375	5	0.0000036556
1800	Put	2.525	5	0.0000038987
1805	Put	2.625	5	0.0000040286
1810	Put	2.775	5	0.0000042353
1815	Put	2.850	5	0.0000044778
1820	Put	3.075	5	0.0000048417
1825	Put	3.300	5	0.0000049541
1830	Put	3.450	5	0.0000051511
1835	Put	3.650	5	0.0000054200
1840	Put	3.900	5	0.0000057598
1845	Put	4.100	5	0.0000060224
1850	Put	4.350	5	0.0000063551
1855	Put	4.650	5	0.0000067568
1860	Put	4.950	5	0.0000071542

Individual Contributions (Cont.)				
Near term Strike	Option Type	Mid-quote Price	Delta-K	Contribution by Strike
1720	Put	1.800	5	0.0000030423
1725	Put	1.850	5	0.0000031087
1730	Put	1.925	5	0.0000032160
1735	Put	2.000	5	0.0000033221
1740	Put	2.100	5	0.0000034682
1745	Put	2.175	5	0.0000035715
1750	Put	2.275	5	0.0000037144
1755	Put	2.375	5	0.0000038588
1760	Put	2.475	5	0.0000039951
1765	Put	2.575	5	0.0000041330
1770	Put	2.725	5	0.0000043491
1775	Put	2.825	5	0.0000044834
1780	Put	3.000	5	0.0000047344
1785	Put	3.100	5	0.0000048648
1790	Put	3.250	5	0.0000050718
1795	Put	3.450	5	0.0000053539
1800	Put	3.600	5	0.0000055557
1805	Put	3.800	5	0.0000058319
1810	Put	3.950	5	0.0000060287
1815	Put	4.200	5	0.0000063790
1820	Put	4.400	5	0.0000068419
1825	Put	4.650	5	0.0000069808
1830	Put	4.900	5	0.0000073160
1835	Put	5.150	5	0.0000076474
1840	Put	5.450	5	0.0000080490
1845	Put	5.750	5	0.0000084461
1850	Put	6.050	5	0.0000088388
1855	Put	6.450	5	0.0000093724
1860	Put	6.750	5	0.0000097557
1865	Put	7.150	5	0.0000102785
1870	Put	7.650	5	0.0000109285
1875	Put	8.150	5	0.0000115914
1880	Put	8.600	5	0.0000121664
1885	Put	9.200	5	0.0000129465
1890	Put	9.750	5	0.0000138478
1895	Put	10.400	5	0.0000148609
1900	Put	11.100	5	0.0000153743
1905	Put	11.800	5	0.0000162582
1910	Put	12.600	5	0.0000172697
1915	Put	13.450	5	0.0000183396
1920	Put	14.400	5	0.0000195117
1925	Put	15.400	5	0.0000207797
1930	Put	16.400	5	0.0000220146
1935	Put	17.600	5	0.0000235035
1940	Put	18.800	5	0.0000249767
1945	Put	20.200	5	0.0000269899
1950	Put	21.600	5	0.0000284031
1955	Put	23.200	5	0.0000303512
1960	Put/CeIl Average	26.100	5	0.0000339711

Individual Contributions (Cont.)				
Near term Strike	Option Type	Mid-quote Price	Delta-K	Contribution by Strike
1865	Put	5.250	5	0.0000075471
1870	Put	5.800	5	0.0000080073
1875	Put	6.000	5	0.0000085335
1880	Put	6.400	5	0.0000090541
1885	Put	6.850	5	0.0000096393
1890	Put	7.350	5	0.0000102883
1895	Put	7.900	5	0.0000109999
1900	Put	8.300	5	0.0000114981
1905	Put	9.000	5	0.0000124003
1910	Put	9.650	5	0.0000132263
1915	Put	10.600	5	0.0000144526
1920	Put	11.400	5	0.0000154626
1925	Put	12.100	5	0.0000163269
1930	Put	13.250	5	0.0000177881
1935	Put	14.150	5	0.0000188962
1940	Put	15.250	5	0.0000202603
1945	Put	16.550	5	0.0000218745
1950	Put	18.250	5	0.0000239979
1955	Put	19.750	5	0.0000258376
1960	Put/CeIl Average	24.250	5	0.0000298432
1965	Cell	21.050	5	0.0000272588
1970	Cell	18.100	5	0.0000233198
1975	Cell	15.250	5	0.0000195486
1980	Cell	12.750	5	0.0000162614
1985	Cell	10.450	5	0.0000132609
1990	Cell	8.450	5	0.0000106691
1995	Cell	6.850	5	0.0000083544
2000	Cell	4.950	5	0.0000061876
2005	Cell	3.800	5	0.0000047264
2010	Cell	2.875	5	0.0000035582
2015	Cell	2.025	5	0.0000024938
2020	Cell	1.450	5	0.0000017768
2025	Cell	1.125	5	0.0000013718
2030	Cell	0.725	5	0.0000008797
2035	Cell	0.525	5	0.0000006339
2040	Cell	0.500	5	0.0000006007
2045	Cell	0.400	5	0.0000004782
2050	Cell	0.250	5	0.0000002974
2055	Cell	0.325	5	0.0000003848
2060	Cell	0.225	5	0.0000002651
2065	Cell	0.175	5	0.0000002052
2070	Cell	0.150	5	0.0000001750
2075	Cell	0.150	5	0.0000001742
2080	Cell	0.250	5	0.0000002889
2085	Cell	0.225	5	0.0000002588
2090	Cell	0.100	5	0.0000001145
2095	Cell	0.200	5	0.0000002278
2100	Cell	0.100	15	0.00000093401
2125	Cell	0.100	25	0.0000005536

Individual Contributions (Cont.)				
Near term Strike	Option Type	Mid-quote Price	Delta-K	Contribution by Strike
1965	Cell	24.150	5	0.0000312732
1970	Cell	21.100	5	0.0000271851
1975	Cell	18.300	5	0.0000234584
1980	Cell	15.700	5	0.0000200240
1985	Cell	13.300	5	0.0000168776
1990	Cell	11.100	5	0.0000140152
1995	Cell	9.150	5	0.0000114952
2000	Cell	7.400	5	0.0000092502
2005	Cell	5.850	5	0.0000072763
2010	Cell	4.650	5	0.0000057550
2015	Cell	3.550	5	0.0000043718
2020	Cell	2.700	5	0.0000033088
2025	Cell	2.050	5	0.0000024997
2030	Cell	1.550	5	0.0000018807
2035	Cell	1.150	5	0.000013885
2040	Cell	0.875	5	0.000010513
2045	Cell	0.875	5	0.000008070
2050	Cell	0.575	7.5	0.0000010262
2060	Cell	0.350	10	0.0000008248
2070	Cell	0.250	7.5	0.0000004379
2075	Cell	0.200	15	0.0000006968
2100	Cell	0.150	25	0.0000008504
2125	Cell	0.100	25	0.0000005536
2150	Cell	0.100	37.5	0.0000008113
2200	Cell	0.075	50	0.0000007748

Sum of Individual Contributions 0.000831402

$$\frac{2}{T} \sum_i \frac{\Delta K_i}{K_i^2} e^{RT} Q(K_i) \quad 0.018838$$

$$\frac{2}{T} \sum_i \frac{\Delta K_i}{K_i^2} e^{RT} Q(K_i)$$

Sum of Individual Contributions 0.0006320516

$$\frac{2}{T} \sum_i \frac{\Delta K_i}{K_i^2} e^{RT} Q(K_i) \quad 0.018494953$$

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

## 13.4. Diccionario variables

A continuación se muestra la equivalencia entre la denominación de las variables codificadas y su nombre original, tal y como se procedió en el apartado 6.1 .

Nombre Original	Cod	Nombre Original	Cod	Nombre Original	Cod	Nombre Original	Cod	Nombre Original	Cod
Date	v1	IBEX35_CLOSE_EURUSD	v45	IMOEX_VOLUME_RUBUSD	v89	BEL20_SMAVG_EURUSD	v133	BRENT_OIL_FUTURES_DERIVATIVES_LO	v177
VIX_Open	v2	IBEX35_VOLUME_EURUSD	v46	IMOEX_SMAVG_RUBUSD	v90	ATX_CLOSE_EURUSD	v134	SPXFAST_INDEX_CLOSE	v178
VIX_High	v3	IBEX35_SMAVG_EURUSD	v47	MERVAL_CLOSE_ARSUSD	v91	ATX_VOLUME_EURUSD	v135	SPXT_INDEX_TOTAL_RETURN_CLOSE	v179
VIX_Low	v4	WIG20_CLOSE_PLNUSD	v48	MERVAL_VOLUME_ARSUSD	v92	ATX_SMAVG_EURUSD	v136	SP1_INDEX_CLOSE	v180
VIX_Close	v5	WIG20_VOLUME_PLNUSD	v49	MERVAL_SMAVG_ARSUSD	v93	AEX_CLOSE_EURUSD	v137	SPEURO_INDEX_CLOSE_EURUSD	v181
USDARS_Currency	v6	WIG20_SMAVG_PLNUSD	v50	KOSPI_CLOSE_KRWUSD	v94	AEX_VOLUME_EURUSD	v138	ADP YOYL_INDEX_MONTHLY_national	v182
USDAUD_Currency	v7	TWSE_CLOSE_TWDUSD	v51	KOSPI_VOLUME_KRWUSD	v95	AEX_SMAVG_EURUSD	v139	BPBSCILN_INDEX_TRIMESTER_USD	v183
USDBRL_Currency	v8	TWSE_VOLUME_TWDUSD	v52	KOSPI_SMAVG_KRWUSD	v96	EONIA_IR_CLOSE	v140	BLTBBCB_INDEX_MONTHLY_EUR_CONTR	v184
USDCAD_Currency	v9	TWSE_SMAVG_TWDUSD	v53	JCI_CLOSE_IDRUSD	v97	euribor_IR_1W_CLOSE	v141	USMMMNCH_INDEX_MONTHLY	v185
USDCFH_Currency	v10	SHSN300_CLOSE_CNYUSD	v54	JCI_VOLUME_IDRUSD	v98	euribor_IR_2W_CLOSE	v142	NFP_TCH_INDEX_MONTHLY_NONFARM_PA	v186
USDCLP_Currency	v11	SHSN300_VOLUME_CNYUSD	v55	JCI_SMAVG_IDRUSD	v99	euribor_IR_1M_CLOSE	v143	USTBTOT_INDEX_MONTHLY_USD	v187
USDCNY_Currency	v12	SHSN300_SMAVG_CNYUSD	v56	HSI_CLOSE_HKDUSD	v100	euribor_IR_2M_CLOSE	v144	USCABAL_INDEX_TRIMESTER_USD	v188
USDCOP_Currency	v13	SMI_CLOSE_CHFUSD	v57	HSI_VOLUME_HKDUSD	v101	euribor_IR_3M_CLOSE	v145	PUBLDEBT_INDEX_USD	v189
USDDK_Currency	v14	SMI_VOLUME_CHFUSD	v58	HSI_SMAVG_HKDUSD	v102	euribor_IR_6M_CLOSE	v146	GDDDBUNST_INDEX_ANUAL	v190
USDEUR_Currency	v15	SMI_SMAVG_CHFUSD	v59	FTSEMIB_CLOSE_EURUSD	v103	euribor_IR_9M_CLOSE	v147	GDDDBCHIN_INDEX_ANUAL	v191
USDEGB_Currency	v16	SPTSX_CLOSE_CADUSD	v60	FTSEMIB_VOLUME_EURUSD	v104	euribor_IR_12M_CLOSE	v148	GDDDBJAPN_INDEX_ANUAL	v192
USDHKD_Currency	v17	SPTSX_VOLUME_CADUSD	v61	FTSEMIB_SMAVG_EURUSD	v105	US_FEDERAL_RESERVE_IR_H15_1M	v149	GDDDBGERM_INDEX_ANUAL	v193
USDHUF_Currency	v18	SPTSX_SMAVG_CADUSD	v62	XIN9I_CLOSE_CNYUSD	v106	US_FEDERAL_RESERVE_IR_H15_3M	v150	EUDB6OUK_INDEX_ANUAL	v194
USDIDR_Currency	v19	SPBMVIPC_CLOSE_USD	v63	SXSE_CLOSE_EURUSD	v107	US_FEDERAL_RESERVE_IR_H15_6M	v151	GDDDBFRAN_INDEX_ANUAL	v195
USDILS_Currency	v20	ASS1_CLOSE_AUDUSD	v64	SXSE_VOLUME_EURUSD	v108	US_FEDERAL_RESERVE_IR_H15_1Y	v152	GDDDBRUSS_INDEX_ANUAL	v196
USDINR_Currency	v21	ASS1_VOLUME_AUDUSD	v65	SXSE_SMAVG_EURUSD	v109	US_FEDERAL_RESERVE_IR_H15_2Y	v153	GRUEPEMP_INDEX_MONTHLY	v197
USDJOD_Currency	v22	ASS1_SMAVG_AUDUSD	v66	TIKI_CLOSE_USD	v110	US_FEDERAL_RESERVE_IR_H15_3Y	v154	BIRTEUK_INDEX_MONTHLY	v198
USDJPY_Currency	v23	SPBL25PT_CLOSE_PENUSD	v67	DAX_CLOSE_EURUSD	v111	US_FEDERAL_RESERVE_IR_H15_5Y	v155	JNUEMPLY_INDEX_MONTHLY	v199
USDKRW_Currency	v24	SPBL25PT_VOLUME_PENUSD	v68	DAX_VOLUME_EURUSD	v112	US_FEDERAL_RESERVE_IR_H15_7Y	v156	CPMIEMPL_INDEX_MONTHLY	v200
USDKWD_Currency	v25	SPBL25PT_SMAVG_PENUSD	v69	DAX_SMAVG_EURUSD	v113	US_FEDERAL_RESERVE_IR_H15_10Y	v157	CHCADNCB_INDEX_MONTHLY_CNY	v201
USDLKR_Currency	v26	RTSI\$_CLOSE_USD	v70	CSEALL_CLOSE_LKRUSD	v114	US_FEDERAL_RESERVE_IR_H15_20Y	v158	UX1_INDEX_CLOSE_USD	v202
USDMXN_Currency	v27	RTSI\$_VOLUME_USD	v71	COLCAP_CLOSE_COPUSD	v115	US_FEDERAL_RESERVE_IR_H15_30Y	v159	UX1_INDEX_VOLUME_USD	v203
USDNOK_Currency	v28	RTSI\$_SMAVG_USD	v72	CAC_CLOSE_EURUSD	v116	LIBOR_JPY_INTEREST_RATE_1W	v160	UX1_INDEX_SMAVG_USD	v204
USDNZD_Currency	v29	PSI20_CLOSE_EURUSD	v73	CAC_VOLUME_EURUSD	v117	LIBOR_JPY_INTEREST_RATE_1M	v161	USGG10YR_INDEX_CLOSE_USD	v205
USDPEN_Currency	v30	PSI20_VOLUME_EURUSD	v74	CAC_SMAVG_EURUSD	v118	LIBOR_JPY_INTEREST_RATE_2M	v162	GDBR10_INDEX_EUR	v206
USDPLN_Currency	v31	PSI20_SMAVG_EURUSD	v75	BUX_CLOSE_HUFUSD	v119	LIBOR_JPY_INTEREST_RATE_3M	v163	GUKG10_INDEX_CLOSE_GBP	v207
USD RUB_Currency	v32	OMX_CLOSE_SEKUSD	v76	BUX_VOLUME_HUFUSD	v120	LIBOR_JPY_INTEREST_RATE_6M	v164	RGBI_INDEX_CLOSE_RUBUSD	v208
USDSAR_Currency	v33	OMX_VOLUME_SEKUSD	v77	BUX_SMAVG_HUFUSD	v121	LIBOR_JPY_INTEREST_RATE_1Y	v165	GIND10YR_INDEX_CLOSE_INR	v209
USDSEK_Currency	v34	OMX_SMAVG_SEKUSD	v78	SENSEX_CLOSE_INRUSD	v122	LIBOR_GBP_INTEREST_RATE_OVERNIGHT	v166	BACMO_INDEX_CLOSE_AUDUSD	v210
USDTRY_Currency	v35	NKY_CLOSE_JPYUSD	v79	SENSEX_VOLUME_INRUSD	v123	LIBOR_GBP_INTEREST_RATE_1W	v167	VRTBT10_INDEX_CLOSE	v211
USD TWD_Currency	v36	NKY_VOLUME_JPYUSD	v80	SENSEX_SMAVG_INRUSD	v124	LIBOR_GBP_INTEREST_RATE_1M	v168	GCAN10YR_INDEX_CLOSE_CADUSD	v212
USDVND_Currency	v37	NKY_SMAVG_JPYUSD	v81	IBOV_CLOSE_BRLUSD	v125	LIBOR_GBP_INTEREST_RATE_2M	v169	US_EMPLOYMENT_POPULATION_TOTAL_R	v213
USDZAR_Currency	v38	NIFTY_CLOSE_INRUSD	v82	IBOV_VOLUME_BRLUSD	v126	LIBOR_GBP_INTEREST_RATE_3M	v170	US_CONSUMER_PRICE_INDEX_ANNUAL	v214
SP500_CLOSE_USD	v39	NIFTY_VOLUME_INRUSD	v83	IBOV_SMAVG_BRLUSD	v127	LIBOR_GBP_INTEREST_RATE_6M	v171	SPSIOP INDEX usd(US S&P500 Oil	v215
SP500_OPEN_USD	v40	NIFTY_SMAVG_INRUSD	v84	XU100_CLOSE_TRYUSD	v128	LIBOR_GBP_INTEREST_RATE_1Y	v172	brent_oil_FUTURES_EQUITY_DERIVAT	v216
SP500_LOW_USD	v41	CCMP_CLOSE_USD	v85	XU100_VOLUME_TRYUSD	v129	WTI_US_EQUITY_CLOSE_USD	v173	brent_oil_FUTURES_EQUITY_DE_0001	v217
SP500_HIGH_USD	v42	CCMP_VOLUME_USD	v86	XU100_SMAVG_TRYUSD	v130	BRENT_OIL_FUTURES_DERIVATIVES_CL	v174	brent_oil_FUTURES_EQUITY_DE_0002	v218
SP500_ADJ_CLOSE_USD	v43	CCMP_SMAVG_USD	v87	BEL20_CLOSE_EURUSD	v131	BRENT_OIL_FUTURES_DERIVATIVES_OP	v175	brent_oil_FUTURES_EQUITY_DE_0003	v219
SP500_VOLUME_USD	v44	IMOEX_CLOSE_RUBUSD	v88	BEL20_VOLUME_EURUSD	v132	BRENT_OIL_FUTURES_DERIVATIVES_HI	v176	brent_oil_FUTURES_EQUITY_DE_0004	v220

# Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

## 13.5. Código SAS

### 13.5.1. Depuración

```
libname disco 'C:\Users\Usuario\Documents\tfm\datos\PROYECTO
SAS';
RUN;

/*****
*****

LECTURA Y DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS

*****
*****/

/*LECTURA DEL archivo*/

data disco.VIX_STUDY;
SET 'CONSTRUCCION BASE FINAL_ACT_0000'n;
RUN;

proc means data= DISCO.VIX_STUDY;
OUTPUT OUT = DISCO.MISSINGS;
run;

/*SUSTITUCIÓN DE 0s por missings*/

data uno;
set DISCO.VIX_STUDY;
if SPIPSAUP_CLOSE_USD = 0 then do; SPIPSAUP_CLOSE_USD
= . ; end;
if 'RTSI$ _CLOSE_USD'n = 0 then do;
'RTSI$ _CLOSE_USD'n = . ; end;
if SX5E_VOLUME_EURUSD = 0 then do; SX5E_VOLUME_EURUSD
= . ; end;
if SX5E_SMAVG_EURUSD = 0 then do; SX5E_SMAVG_EURUSD
= . ; end;
if CSEALL_CLOSE_LKRUSD = 0 then do;
CSEALL_CLOSE_LKRUSD = . ; end;
if IBOV_VOLUME_BRLUSD = 0 then do; IBOV_VOLUME_BRLUSD
= . ; end;
if IBOV_SMAVG_BRLUSD = 0 then do; IBOV_SMAVG_BRLUSD
= . ; end;
if XU100_SMAVG_TRYUSD = 0 then do; XU100_SMAVG_TRYUSD
= . ; end;
if euribor_IR_3W_CLOSE = 0 then do;
euribor_IR_3W_CLOSE = . ; end;
if euribor_IR_4M_CLOSE = 0 then do;
euribor_IR_4M_CLOSE = . ; end;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
if euribor_IR_5M_CLOSE           = 0 then do;
euribor_IR_5M_CLOSE             = . ; end;
if euribor_IR_7M_CLOSE           = 0 then do;
euribor_IR_7M_CLOSE             = . ; end;
if euribor_IR_8M_CLOSE           = 0 then do;
euribor_IR_8M_CLOSE             = . ; end;
if euribor_IR_10M_CLOSE          = 0 then do;
euribor_IR_10M_CLOSE            = . ; end;
if euribor_IR_11M_CLOSE          = 0 then do;
euribor_IR_11M_CLOSE            = . ; end;
if US_FEDERAL_RESERVE_IR_H15_1M = 0 then do;
US_FEDERAL_RESERVE_IR_H15_1M   = . ; end;
if US_FEDERAL_RESERVE_IR_H15_3M = 0 then do;
US_FEDERAL_RESERVE_IR_H15_3M   = . ; end;
if UX1_INDEX_VOLUME_USD         = 0 then do;
UX1_INDEX_VOLUME_USD           = . ; end;
if UX1_INDEX_SMAVG_USD          = 0 then do;
UX1_INDEX_SMAVG_USD            = . ; end;
if 'VRTBT10_INDEX_CLOSE_???'n   = 0 then do;
'VRTBT10_INDEX_CLOSE_???'n     = . ; end;
run;

/*se vuelven a comprobar los missings*/

proc means data=uno;
OUTPUT OUT = DISCO.MISSINGS2;
run;

/*se eliminan los missings*/

data disco.VIX_study (drop= SPIPSAUP_CLOSE_USD
euribor_IR_3W_CLOSE euribor_IR_4M_CLOSE euribor_IR_5M_CLOSE
euribor_IR_7M_CLOSE euribor_IR_8M_CLOSE euribor_IR_10M_CLOSE
euribor_IR_11M_CLOSE EQRIUS_INDEX_WEEKLY);
set uno;
run;

/*interpolación lineal: método de imputación*/

/*en primer lugar, exportamos la base de datos a excel de nuevo,
para renombrar todas las variables*/

data disco.diccionario_variables;
set vix_study;
run;

data disco.VIX_STUDY_codificado;
set VIX_STUDY_0000;
run;

/*bucle*/
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
proc sort data=disco.vix_study_codificado;
    by v1;
run;

%macro linear_interpolation(num_var); /*borrar work antes de
ejecutar*/
    data final;stop;run;
    %do i=2 %to &num_var;
        data aux1 (keep= v1 v&i);
            set disco.vix_study_codificado;
        run;
        proc sort data=aux1;
            by v1;
        run;
        proc expand data=aux1 out=output;
            convert v&i=linear&i / method=join;
            id v1;
        run;
        data output(keep = v1 variable id);
            set output;
            variable=linear&i;
            id=put(&i,best10.);
        run;
        data final;
            set final output;
        run;
    %end;
%mend linear_interpolation;

%linear_interpolation(220)

proc sort data=final;by v1;run;

proc transpose data=final out=final2 prefix=v;
by v1;var variable;id id; run;

data disco.final2 (drop = _NAME_);
set final2;run;

proc means data=disco.final2;run; /*no hay missings*/

/*PARA VER LOS OUTLIERS*/
%macro outliers(num_var);

    %do i=2 %to &num_var;
        proc univariate data=disco.final2 robustscale
plot;
            var v&i;
        run;
    %end;
%mend outliers;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
%end;

%mend outliers;

%outliers(220)

/* SI BIEN EXISTEN OUTLIERS, NO HAY INDICIOS PARA DETERMINAR QUE
UNO SEA DIRECTAMENTE FALSO*/

/*voy por aquí, comparar disco.final2 con vix_study_codificado
para ver que los valores de las variables tienen sentido*/

/*CREAR VARIABLES QUE RECOJAN LA DIFERENCIA DIARIA, SEMANAL Y
MENSUAL, y DE RETARDOS DE 1-5 DÍAS*/

/*LAS DIFERENCIAS SON DEL DÍA ANTERIOR TB (EJEM: DIFERENCIA
DIARIA ES LA DIFERENCIA PROPORCIONAL DEL DATO DE AYER CON
EL DE ANTEAYER, CON RESPECTO A ANTEAYER), NO TENDRÍA SENTIDO
UTILIZAR DATOS DEL MISMO DÍA PARA UN MODELO, DADO QUE NO
TIENE SENTIDO UN MODELO QUE PREDICE DATOS UTILIZANDO DATOS DEL
MISMO DÍA QUE PREDICE */

proc sort data=disco.final2;by v1;run;
%macro crear_var_dif(num_var); /*borrar work antes de ejecutar*/
  data dif1;stop;run;
  data dif2;stop;run;
  data dif3;stop;run;
  data ret1;stop;run;
  data ret2;stop;run;
  data ret3;stop;run;
  data ret4;stop;run;
  data ret5;stop;run;
  %do i=2 %to &num_var;
    data aux1 (keep= v1 v&i);
      set disco.final2;
    run;
    proc sort data=aux1;
      by v1;
    run;
    data aux1;
      set aux1;
      dif_daily_v&i= (lag2(v&i) -
lag1(v&i))/(lag2(v&i));
      dif_weekly_v&i=
(lag1(v&i)/(mean(lag6(v&i),lag5(v&i),lag4(v&i),lag3(v&i),lag2(v&
i))))-1;
      dif_monthly_v&i=
(lag1(v&i)/(mean(lag22(v&i),lag21(v&i),lag20(v&i),lag19(v&i),lag
18(v&i),lag17(v&i),lag16(v&i),lag15(v&i),lag14(v&i),lag13(v&i),l
ag12(v&i),lag11(v&i),lag10(v&i),lag9(v&i),lag8(v&i),lag7(v&i),la
g6(v&i),lag5(v&i),lag4(v&i),lag3(v&i),lag2(v&i))))-1;
  %end;
%mend;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
        retardo_1_v&i= lag1(v&i);
        retardo_2_v&i= lag2(v&i);
        retardo_3_v&i= lag3(v&i);
        retardo_4_v&i= lag4(v&i);
        retardo_5_v&i= lag5(v&i);
run;
data output1(keep = v1 dif_daily id);
  set aux1;
  id=put(&i,best10.);
  dif_daily= dif_daily_v&i;
run;
data output2(keep = v1 dif_weekly id);
  set aux1;
  id=put(&i,best10.);
  dif_weekly= dif_weekly_v&i;
run;
data output3(keep = v1 dif_monthly id);
  set aux1;
  id=put(&i,best10.);
  dif_monthly= dif_monthly_v&i;
run;
data output4(keep = v1 retardo_1 id);
  set aux1;
  id=put(&i,best10.);
  retardo_1= retardo_1_v&i;
run;
data output5(keep = v1 retardo_2 id);
  set aux1;
  id=put(&i,best10.);
  retardo_2= retardo_2_v&i;
run;
data output6(keep = v1 retardo_3 id);
  set aux1;
  id=put(&i,best10.);
  retardo_3= retardo_3_v&i;
run;
data output7(keep = v1 retardo_4 id);
  set aux1;
  id=put(&i,best10.);
  retardo_4= retardo_4_v&i;
run;
data output8(keep = v1 retardo_5 id);
  set aux1;
  id=put(&i,best10.);
  retardo_5= retardo_5_v&i;
run;
data dif1;
  set dif1 output1;
run;
data dif2;
  set dif2 output2;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
run;
data dif3;
    set dif3 output3;
run;
data ret1;
    set ret1 output4;
run;
data ret2;
    set ret2 output5;
run;
data ret3;
    set ret3 output6;
run;
data ret4;
    set ret4 output7;
run;
data ret5;
    set ret5 output8;
run;

%end;
%mend crear_var_dif;

%crear_var_dif(220)

proc sort data=dif1;by v1;run;
proc sort data=dif2;by v1;run;
proc sort data=dif3;by v1;run;
proc sort data=ret1;by v1;run;
proc sort data=ret2;by v1;run;
proc sort data=ret3;by v1;run;
proc sort data=ret4;by v1;run;
proc sort data=ret5;by v1;run;

proc transpose data=dif1 out=dif1_trans prefix=dif_daily_v;
by v1;var dif_daily;id id; run;
proc transpose data=dif2 out=dif2_trans prefix=dif_weekly_v;
by v1;var dif_weekly;id id; run;
proc transpose data=dif3 out=dif3_trans prefix=dif_monthly_v;
by v1;var dif_monthly;id id; run;
proc transpose data=ret1 out=ret1_trans prefix=ret1_v;
by v1;var retardo_1;id id; run;
proc transpose data=ret2 out=ret2_trans prefix=ret2_v;
by v1;var retardo_2;id id; run;
proc transpose data=ret3 out=ret3_trans prefix=ret3_v;
by v1;var retardo_3;id id; run;
proc transpose data=ret4 out=ret4_trans prefix=ret_4_v;
by v1;var retardo_4;id id; run;
proc transpose data=ret5 out=ret5_trans prefix=ret_5_v;
by v1;var retardo_5;id id; run;

proc sort data=disco.final2;by v1;run;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
proc sort data=dif1_trans;by v1;run;
proc sort data=dif2_trans;by v1;run;
proc sort data=dif3_trans;by v1;run;
proc sort data=ret1_trans;by v1;run;
proc sort data=ret2_trans;by v1;run;
proc sort data=ret3_trans;by v1;run;
proc sort data=ret4_trans;by v1;run;
proc sort data=ret5_trans;by v1;run;

data union;
merge disco.final2 dif1_trans dif2_trans dif3_trans ret1_trans
ret2_trans ret3_trans ret4_trans ret5_trans;
by v1;
run;

data disco.final3 (DROP=_NAME_);
set union;
run;

/*1° eliminamos las 22 primeras obs, dado que las variables de
diferencia, no tendrían sentido para estas 21 primeras.*/
data disco.final4;
set disco.final3;
if v1 <= '03FEB2004'd then delete;
RUN;

/*2° partimos el conjunto de datos.*/

data disco.Training;
set disco.final4;
if v1 > '31DEC2014'd then delete;
run;

data disco.Validation;
set disco.final4;
if v1 < '01JAN2015'd or v1 > '31DEC2017'd then delete;
run;

data disco.Test;
set disco.final4;
if v1 < '01JAN2018'd then delete;
run;
```

### 13.5.2. Descriptivos

```
libname disco 'C:\Users\Usuario\Documents\tfm\datos\PROYECTO
SAS';
RUN;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
/* GRÁFICO DEL VIX*/

title "Índice VIX (2004-2018)";
proc sgplot data=DISCO.FINAL2;
  xaxis type=LINEAR LABEL=" ";
  YAXIS LABEL="Cierre diario";
  series x=V1 y=V5;
run;
title;

/* GRÁFICO DEL S&P 500*/

title "S&P 500 (2004-2018)";
proc sgplot data=DISCO.FINAL2;
  xaxis type=LINEAR LABEL=" ";
  YAXIS LABEL="Cierre diario";
  series x=V1 y=V39;
run;
title;

/*vix vs sp 500*/

title "El VIX contra el S&P 500 (2004-2018)";
proc sgplot data=disco.final2;
yaxis label= "VIX";Y2AXIS LABEL="S&P 500";XAXIS LABEL=" ";
  series x=V1 y=V5/ curvelabel="VIX";
  series x=V1 y=V39/ y2axis curvelabel="S&P 500";
run;
title;

/*eur v15 gbp v16 jpy v23*/
/* gráfico de monedas USD VS EUROPE*/

data eur (keep=v1 valor currency);set disco.final2;RENAME
V15=VALOR ; currency="EUR";RUN;
data GBP (keep=v1 valor currency);set disco.final2;RENAME
V16=VALOR ; currency="GBP";RUN;
data CHF (keep=v1 valor currency);set disco.final2;RENAME
V10=VALOR ; currency="CHF";RUN;
data DKK (keep=v1 valor currency);set disco.final2;RENAME
V14=VALOR ; currency="DKK";RUN;
data SEK (keep=v1 valor currency);set disco.final2;RENAME
V34=VALOR ; currency="SEK";RUN;

PROC APPEND DATA=GBP BASE=eur;RUN;
PROC APPEND DATA=CHF BASE=eur;RUN;
PROC APPEND DATA=DKK BASE=eur;RUN;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
PROC APPEND DATA=SEK BASE=eur;RUN;

title 'El dólar contra el Europa (2004-2018)';
proc sgplot data=eur;
YAXIS LABEL=" ";
XAXIS LABEL=" ";
    series x=v1 y=valor /
        group=currency;
run;
title;

/* gráfico de monedas usd vs south america*/

data MXN (keep=v1 valor currency);set disco.final2;RENAME
V27=VALOR ; currency="MXN";RUN;
data COP (keep=v1 valor currency);set disco.final2;RENAME
V13=VALOR ; currency="COP";RUN;
data BRL (keep=v1 valor currency);set disco.final2;RENAME
V8=VALOR ; currency="BRL";RUN;
data ARS (keep=v1 valor currency);set disco.final2;RENAME
V6=VALOR ; currency="ARS";RUN;
data CLP (keep=v1 valor currency);set disco.final2;RENAME
V11=VALOR ; currency="CLP";RUN;

PROC APPEND DATA=COP BASE=MXN;RUN;
PROC APPEND DATA=BRL BASE=MXN;RUN;
PROC APPEND DATA=ARS BASE=MXN;RUN;
PROC APPEND DATA=CLP BASE=MXN;RUN;

title 'El dólar contra latam (2004-2018)';
proc sgplot data=MXN;
YAXIS LABEL=" ";
XAXIS LABEL=" ";
    series x=v1 y=valor /
        group=currency;
run;
title;

/* gráfico de monedas usd vs ASIA*/

data JPY (keep=v1 valor currency);set disco.final2;RENAME
V23=VALOR ; currency="JPY";RUN;
data CNY (keep=v1 valor currency);set disco.final2;RENAME
V12=VALOR ; currency="CNY";RUN;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
data HKD (keep=v1 valor currency);set disco.final2;RENAME
V17=VALOR ; currency="HKD";RUN;
data TWD (keep=v1 valor currency);set disco.final2;RENAME
V36=VALOR ; currency="TWD";RUN;

PROC APPEND DATA=CNY BASE=JPY;RUN;
PROC APPEND DATA=HKD BASE=JPY;RUN;
PROC APPEND DATA=TWD BASE=JPY;RUN;

title 'El dólar contra Asia (2004-2018)';
proc sgplot data=JPY;
YAXIS LABEL=" ";
XAXIS LABEL=" ";
series x=v1 y=valor /
group=currency;
run;
title;

/* TIPOS DE INTERÉS euribor */

data EURIBOR_1W (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V141=VALOR ; TENOR=put("1W",3.);RUN;
data EURIBOR_2W (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V142=VALOR ; TENOR=put("2W",3.);RUN;
data EURIBOR_1M (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V143=VALOR ; TENOR=put("1M",3.);RUN;
data EURIBOR_2M (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V144=VALOR ; TENOR=put("2M",3.);RUN;
data EURIBOR_3M (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V145=VALOR ; TENOR=put("3M",3.);RUN;
data EURIBOR_6M (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V146=VALOR ; TENOR=put("6M",3.);RUN;
data EURIBOR_9M (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V147=VALOR ; TENOR=put("9M",3.);RUN;
data EURIBOR_12M (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V148=VALOR ; TENOR=put("12M",3.);RUN;

PROC APPEND DATA=EURIBOR_2W BASE=EURIBOR_1W;RUN;
PROC APPEND DATA=EURIBOR_1M BASE=EURIBOR_1W;RUN;
PROC APPEND DATA=EURIBOR_2M BASE=EURIBOR_1W;RUN;
PROC APPEND DATA=EURIBOR_3M BASE=EURIBOR_1W;RUN;
PROC APPEND DATA=EURIBOR_6M BASE=EURIBOR_1W;RUN;
PROC APPEND DATA=EURIBOR_9M BASE=EURIBOR_1W;RUN;
PROC APPEND DATA=EURIBOR_12M BASE=EURIBOR_1W;RUN;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
title 'Curva de tipos del Euribor (2004-2018)';
proc sgplot data=EURIBOR_1W;
YAXIS LABEL=" ";
XAXIS LABEL=" ";
    series x=v1 y=valor /
        group=TENOR;
run;
title;

/* TIPOS DE INTERÉS americanos */

data US_IR_1M (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V149=VALOR ; TENOR=put("1M",3.);RUN;
data US_IR_3M (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V150=VALOR ; TENOR=put("3M",3.);RUN;
data US_IR_6M (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V151=VALOR ; TENOR=put("6M",3.);RUN;
data US_IR_1Y (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V152=VALOR ; TENOR=put("1Y",3.);RUN;
data US_IR_2Y (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V153=VALOR ; TENOR=put("2Y",3.);RUN;
data US_IR_3Y (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V154=VALOR ; TENOR=put("3Y",3.);RUN;
data US_IR_5Y (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V155=VALOR ; TENOR=put("5Y",3.);RUN;
data US_IR_7Y (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V156=VALOR ; TENOR=put("7Y",3.);RUN;
data US_IR_10Y (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V157=VALOR ; TENOR=put("10Y",3.);RUN;
data US_IR_20Y (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V158=VALOR ; TENOR=put("20Y",3.);RUN;
data US_IR_30Y (keep=v1 valor TENOR);set disco.final2;RENAME
V159=VALOR ; TENOR=put("30Y",3.);RUN;

PROC APPEND DATA=US_IR_3M BASE=US_IR_1M;RUN;
PROC APPEND DATA=US_IR_6M BASE=US_IR_1M;RUN;
PROC APPEND DATA=US_IR_1Y BASE=US_IR_1M;RUN;
PROC APPEND DATA=US_IR_2Y BASE=US_IR_1M;RUN;
PROC APPEND DATA=US_IR_3Y BASE=US_IR_1M;RUN;
PROC APPEND DATA=US_IR_5Y BASE=US_IR_1M;RUN;
PROC APPEND DATA=US_IR_7Y BASE=US_IR_1M;RUN;
PROC APPEND DATA=US_IR_10Y BASE=US_IR_1M;RUN;
PROC APPEND DATA=US_IR_20Y BASE=US_IR_1M;RUN;
PROC APPEND DATA=US_IR_30Y BASE=US_IR_1M;RUN;

title 'Curva de tipos de la Reserva Federal Americana (2004-
2018)';
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
proc sgplot data=US_IR_1M;
YAXIS LABEL=" ";
XAXIS LABEL=" ";
  series x=v1 y=valor /
  group=TENOR;
run;
title;
```

```
/* GRÁFICO DEL brent oil */

title "BRENT OIL (2004-2018)";
proc sgplot data=DISCO.FINAL2;
  xaxis type=LINEAR LABEL=" ";
  YAXIS LABEL="Cierre diario";
  series x=V1 y=V173;
run;
title;
```

### 13.5.3. Regresión aleatoria

```
libname disco 'C:\Users\Usuario\Documents\tfm\datos\PROYECTO
SAS';
RUN;

/*****
*****

REGRESIÓN LINEAL

*****
*****/

proc printto log= 'null';run;

/*Regresión alternativa "MonteCarlo" o "RandomRegresión"*/
%macro
random_regression(data_training,data_validation,vardepen);

%let lista_selection = FORWARD BACKWARD STEPWISE ADJRSQ;
%let lista_num_var = 25 50;
%let p_valores = 0.01 0.0001 0.000001;

PROC CONTENTS DATA=&data_training. out=var NOPRINT;
RUN;

proc reg data=&data_training. OUTEST = SALIDA_REG edf noprint;
  model &vardepen.= dif_monthly_v100-dif_monthly_v150/
selection=stepwise ;
run;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
proc score data=&data_validation. score= SALIDA_REG
out=BASE_PREDICCIONES type=parms predict;
var dif_monthly_v100-dif_monthly_v150;
run;

data BASE_PARAMETERS (drop= _MODEL_ _TYPE_ _EDF_ _DEPVAR_ _RMSE_
Intercept _RSQ_ _P_ _IN_); set SALIDA_REG;run;
proc transpose data=BASE_PARAMETERS out=BASE_PARAMETERS;run;
data BASE_PARAMETERS;set BASE_PARAMETERS; if COL1=. then
delete;run;
data BASE_PARAMETERS (keep= _NAME_ REG);set
BASE_PARAMETERS;REG=put ("NULO_PRUEBAS",50.);run;

DATA BASE_R_CUADRADO(KEEP=_RSQ_ REG);SET
SALIDA_REG;REG=put ("NULO_PRUEBAS",50.);run;
DATA BASE_PREDICCIONES(KEEP=V1 V5 MODEL1 REG);SET
BASE_PREDICCIONES;REG=put ("NULO_PRUEBAS",50.);run;

%do i=1 %to 10000;

    Data var(keep= NAME orden);set var;orden=ranuni(&i.);run;
    proc sort data=var;by orden;run;

    %do n=1 %to 2;

        %let num_var=%scan(&lista_num_var., &n., " ");

        %do j=1 %to 4;

            %let metodo=%scan(&lista_selection., &j., " ");

            proc sql outobs=&num_var. NOPRINT;
                select t1.NAME into: vbles separated by '
'
                from var t1 where (NAME <> 'V5');
            quit;
            run;

            %do p=1 %to 3;

                %let p_valor=%scan(&p_valores., &p., " ");

                proc reg data=&data_training. OUTEST =
SALIDA_REG edf NOPRINT;
                    model &vardepen.= &vbles./
selection=&metodo. slentry=&p_valor. slstay=&p_valor.;
                run;

                %if &j. = 4 %then %do;
                    data SALIDA_REG ; set SALIDA_REG
(obs=1);run;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
                                %end;

                                proc score data=&data_validation.
score=SALIDA_REG out=PREDICCIONES type=parms predict;
                                var &vbles.;
                                run;
                                DATA PREDICCIONES (KEEP=V1 V5 MODEL1
REG);SET PREDICCIONES;
                                REG=put("&i. "||"&metodo."||" num_var
"||"&num_var."||" p_valor "||"&p_valor.",50.);run;
                                PROC APPEND BASE=BASE_PREDICCIONES
DATA=PREDICCIONES;RUN;

                                data PARAMETERS (drop= _MODEL_ _TYPE_
_EDF_ _DEPVAR_ _RMSE_ Intercept _RSQ_ _P_ _IN_); set
SALIDA_REG;run;
                                proc transpose data=PARAMETERS
out=PARAMETERS;run;
                                data PARAMETERS;set PARAMETERS; if COL1=.
then delete;run;
                                data PARAMETERS (KEEP= _NAME_ REG);set
PARAMETERS;
                                REG=put("&i. "||"&metodo."||" num_var
"||"&num_var."||" p_valor "||"&p_valor.",50.);run;
                                PROC APPEND BASE=BASE_PARAMETERS
DATA=PARAMETERS;RUN;

                                DATA R_CUADRADO (KEEP=_RSQ_ REG);SET
SALIDA_REG;
                                REG=put("&i. "||"&metodo."||" num_var
"||"&num_var."||" p_valor "||"&p_valor.",50.);run;
                                PROC APPEND BASE=BASE_R_CUADRADO
DATA=R_CUADRADO;RUN;

                                %end;
                                %end;
                                %end;
                                %end;
                                %mend;

data training (DROP= v2-v4 v6-v220); set disco.Training;run;
data validation (DROP= v2-v4 v6-v220 ); set
disco.validation;run;

%random_regression(training,validation,v5);

data disco.Random_Reg10000_Parameters; set BASE_PARAMETERS;run;
data disco.Random_Reg10000_R2; set BASE_R_CUADRADO;run;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
data disco.Random_Reg10000_Predictions; set
BASE_PREDICCIONES; run;

proc sql noprint;
create table media AS SELECT
    REG,
    mean(v5) as media_v5
from BASE_PREDICCIONES group by REG;
quit;
run;
/*la media de v5 es 14,5345562913907*/

DATA BASE_PREDICCIONES2; set BASE_PREDICCIONES;
media_v5= 14.5345562913907;
Dif_cuadrada_real_estim = (v5 - MODEL1)**2;
Dif_cuadrada_real_media = (v5 - media_v5)**2; run;

proc sql noprint;
create table SUMATORY_NUM AS SELECT
    SUM(Dif_cuadrada_real_estim) AS SUMATORIO_NUM,
    REG
FROM BASE_PREDICCIONES2 group by REG;
quit;
run;

proc sql noprint;
create table SUMATORY_DEN AS SELECT
    SUM(Dif_cuadrada_real_media) AS SUMATORIO_DEN,
    REG
FROM BASE_PREDICCIONES2 group by REG;
quit;
run;

DATA RSQ_VALIDATION;
MERGE SUMATORY_NUM SUMATORY_DEN;
BY REG; RUN;

DATA RSQ_VALIDATION; SET RSQ_VALIDATION;
RSQ_VALIDACION = 1 - (SUMATORIO_NUM / SUMATORIO_DEN); RUN;

PROC SQL;
CREATE TABLE WORK.QUERY_FOR_RSQ_VALIDATION AS
SELECT t1.SUMATORIO_NUM,
    t1.REG,
    t1.SUMATORIO_DEN,
    t1.RSQ_VALIDACION
FROM WORK.RSQ_VALIDATION t1
WHERE t1.RSQ_VALIDACION <= 1 AND t1.RSQ_VALIDACION >= -1
ORDER BY t1.RSQ_VALIDACION DESC;
QUIT;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
data disco.Random_Reg10000_R2_Validation; set
QUERY_FOR_RSQ_VALIDATION; run;

/*si observamos los 3 modelos ganadores en la parrilla de R2 de
validación, y observamos las variables que los integran. Podemos
seguir indagando
probando un modelo que contenga todas estas variables (12 en
total) para intentar mejorar el R2*/

%macro prueba;

%let lista_selection = FORWARD STEPWISE backward ADJRSQ;
%let p_valores = 0.01 0.001 0.0001 0.00001 0.000001 0.0000001
0.00000001;

proc reg data=DISCO.training OUTEST = SALIDA_REG edf noprint;
    model V5= dif_monthly_v100-dif_monthly_v150/
selection=stepwise ;
run;

proc score data=disco.validation score= SALIDA_REG
out=BASE_PREDICCIONES type=parms predict;
var dif_monthly_v100-dif_monthly_v150;
run;

data BASE_PARAMETERS (drop= _MODEL_ _TYPE_ _EDF_ _DEPVAR_ _RMSE_
Intercept _RSQ_ _P_ _IN_); set SALIDA_REG;run;
proc transpose data=BASE_PARAMETERS out=BASE_PARAMETERS;run;
data BASE_PARAMETERS;set BASE_PARAMETERS; if COL1=. then
delete;run;
data BASE_PARAMETERS (keep= _NAME_ REG);set
BASE_PARAMETERS;REG=put ("NULO_PRUEBAS", 30.);run;

DATA BASE_R CUADRADO (KEEP= _RSQ_ REG);SET
SALIDA_REG;REG=put ("NULO_PRUEBAS", 30.);run;
DATA BASE_PREDICCIONES (KEEP=V1 V5 MODEL1 REG);SET
BASE_PREDICCIONES;REG=put ("NULO_PRUEBAS", 30.);run;

%do j=1 %to 4;

    %let metodo=%scan(&lista_selection., &j., " ");

        %do p=1 %to 7;

            %let p_valor=%scan(&p_valores., &p., " ");

            proc reg data=DISCO.training OUTEST = SALIDA_REG
edf NOPRINT;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```

                                model V5= ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151
ret3_v150 ret2_v166  ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178
ret3_v107 ret3_v162 dif_daily_v24/ selection=&metodo.
slentry=&p_valor. slstay=&p_valor.;
                                run;

                                %if &j. = 4 %then %do;
                                data SALIDA_REG ; set SALIDA_REG
(obs=1);run;
                                %end;

                                proc score data=DISCO.validation
score=SALIDA_REG out=PREDICCIONES type=parms predict;
                                var ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150
ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107
ret3_v162 dif_daily_v24;
                                run;
                                DATA PREDICCIONES(KEEP=V1 V5 MODEL1 REG);SET
PREDICCIONES;
                                REG=put("&metodo."||" p_valor
"||"&p_valor.",30.);run;
                                PROC APPEND BASE=BASE_PREDICCIONES
DATA=PREDICCIONES;RUN;

                                data PARAMETERS (drop= _MODEL_ _TYPE_ _EDF_
_DEPVAR_ _RMSE_ Intercept _RSQ_ _P_ _IN_); set SALIDA_REG;run;
                                proc transpose data=PARAMETERS
out=PARAMETERS;run;
                                data PARAMETERS;set PARAMETERS; if COL1=. then
delete;run;
                                data PARAMETERS (KEEP= _NAME_ REG);set
PARAMETERS;
                                REG=put("&metodo."||" p_valor
"||"&p_valor.",30.);run;
                                PROC APPEND BASE=BASE_PARAMETERS
DATA=PARAMETERS;RUN;

                                DATA R_CUADRADO(KEEP=_RSQ_ REG);SET SALIDA_REG;
REG=put("&metodo."||" p_valor
"||"&p_valor.",30.);run;
                                PROC APPEND BASE=BASE_R_CUADRADO
DATA=R_CUADRADO;RUN;

                                %end;
%end;
%mend;

%PRUEBA;

DATA BASE_PREDICCIONES2; set BASE_PREDICCIONES;
media_v5= 14.5345562913907;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
Dif_cuadrada_real_estim = (v5 - MODEL1)**2;
Dif_cuadrada_real_media = (v5 - media_v5)**2;run;

proc sql noprint;
create table SUMATORY_NUM AS SELECT
    SUM(Dif_cuadrada_real_estim) AS SUMATORIO_NUM,
    REG
FROM BASE_PREDICCIONES2 group by REG;
quit;
run;

proc sql noprint;
create table SUMATORY_DEN AS SELECT
    SUM(Dif_cuadrada_real_media) AS SUMATORIO_DEN,
    REG
FROM BASE_PREDICCIONES2 group by REG;
quit;
run;

DATA RSQ_VALIDATION;
MERGE SUMATORY_NUM SUMATORY_DEN;
BY REG;RUN;

DATA RSQ_VALIDATION; SET RSQ_VALIDATION;
RSQ_VALIDACION = 1 - (SUMATORIO_NUM / SUMATORIO_DEN);RUN;

PROC SQL;
    CREATE TABLE WORK.QUERY_FOR_RSQ_VALIDATION AS
    SELECT t1.SUMATORIO_NUM,
           t1.REG,
           t1.SUMATORIO_DEN,
           t1.RSQ_VALIDACION
    FROM WORK.RSQ_VALIDATION t1
    WHERE t1.RSQ_VALIDACION <= 1 AND t1.RSQ_VALIDACION >= -1
    ORDER BY t1.RSQ_VALIDACION DESC;
QUIT;

/* el r2 de validación del modelo ganador mejora de 0.8971411783
a 0.8989391959 con el modelo gnador ADJRSQ p_valor 0.001*/

proc reg data=DISCO.training OUTEST = SALIDA_REG edf;
    model V5= ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166
ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162
dif_daily_v24/ selection=ADJRSQ slentry=0.001 slstay=0.001;
run;

data SALIDA_REG ; set SALIDA_REG (obs=1);run;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
proc score data=DISCO.validation score=SALIDA_REG
out=PREDICCIONES type=parms predict;
    var ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166
        ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162
dif_daily_v24;
run;

/* -V5 = 2.1302637657 + 0.6840079423*ret3_v164 +
0.9323798646*ret1_v5 + 1.1086595496*ret2_v151 -
1.156638686*ret3_v150 - 0.418348938*ret2_v166 -
0.000488743*ret1_v70 + 0.6757599332*ret1_v143 +
11.701178267*dif_weekly_v178 - 0.000146668*ret3_v107 -
15.40667111*dif_daily_v24 */
/* SI CAMBIAMOS EL SIGNO NEGATIVO AL OTRO LADO DE LA ECUACIÓN*/
/* V5 = - 2.1302637657 - 0.6840079423*ret3_v164 -
0.9323798646*ret1_v5 - 1.1086595496*ret2_v151 +
1.156638686*ret3_v150 + 0.418348938*ret2_v166 +
0.000488743*ret1_v70 - 0.6757599332*ret1_v143 -
11.701178267*dif_weekly_v178 + 0.000146668*ret3_v107 +
15.40667111*dif_daily_v24 */

/*GRÁFICOS*/

ODS GRAPHICS ON ;
PROC REG DATA = DISCO.training PLOTS = ( DIAGNOSTICS RESIDUALS (
SMOOTH ));
model V5= ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166
ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162
dif_daily_v24/ selection=ADJRSQ CLB;
RUN ;
ODS GRAPHICS OFF;
```

### 1.1.1. Regresión tradicional

```
libname disco 'C:\Users\Usuario\Documents\tfm\datos\PROYECTO
SAS';
RUN;

/*****
*****

REGRESIÓN LINEAL tradicional

*****
*****/

/*Regresión tradicional*/
%macro regression(data_training,data_validation,vardepen);

%let lista_selection = FORWARD STEPWISE;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
%let p_valores = 0.01 0.001 0.0001 0.00001 0.000001 0.0000001 0.00000001
0.000000001;

proc reg data=&data_training. OUTEST = SALIDA_REG edf noprint;
    model &vardepen.= dif_monthly_v100-dif_monthly_v150/
selection=stepwise ;
run;

proc score data=&data_validation. score= SALIDA_REG
out=BASE_PREDICCIONES type=parms predict;
var dif_monthly_v100-dif_monthly_v150;
run;

data BASE_PARAMETERS (drop= _MODEL_ _TYPE_ _EDF_ _DEPVAR_ _RMSE_
Intercept _RSQ_ _P_ _IN_); set SALIDA_REG;run;
proc transpose data=BASE_PARAMETERS out=BASE_PARAMETERS;run;
data BASE_PARAMETERS;set BASE_PARAMETERS; if COL1=. then
delete;run;
data BASE_PARAMETERS (keep= _NAME_ REG);set
BASE_PARAMETERS;REG=put ("NULO_PRUEBAS",30.);run;

DATA BASE_R CUADRADO (KEEP= RSQ REG);SET
SALIDA_REG;REG=put ("NULO_PRUEBAS",30.);run;
DATA BASE_PREDICCIONES (KEEP=V1 V5 MODEL1 REG);SET
BASE_PREDICCIONES;REG=put ("NULO_PRUEBAS",30.);run;

%do j=1 %to 2;

    %let metodo=%scan(&lista_selection., &j., " ");

    %do p=1 %to 7;

        %let p_valor=%scan(&p_valores., &p., " ");

        proc reg data=&data_training. OUTEST =
SALIDA_REG edf NOPRINT;
            model &vardepen.= dif_daily_v2--
ret_5_v220/ selection=&metodo. slentry=&p_valor.
slstay=&p_valor.;
run;

        proc score data=&data_validation.
score=SALIDA_REG out=PREDICCIONES type=parms predict;
            var dif_daily_v2--ret_5_v220;
run;
        DATA PREDICCIONES (KEEP=V1 V5 MODEL1 REG);SET
PREDICCIONES;
        REG=put ("&metodo."||" p_valor
"||"&p_valor.",30.);run;
        PROC APPEND BASE=BASE_PREDICCIONES
DATA=PREDICCIONES;RUN;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
data PARAMETERS (drop= _MODEL_ _TYPE_ _EDF_
_DEPVAR_ _RMSE_ Intercept _RSQ_ _P_ _IN_); set SALIDA_REG;run;
proc transpose data=PARAMETERS
out=PARAMETERS;run;
data PARAMETERS;set PARAMETERS; if COL1=. then
delete;run;
data PARAMETERS (KEEP= _NAME_ REG);set
PARAMETERS;
REG=put("&metodo."||" p_valor
"||"&p_valor.",30.);run;
PROC APPEND BASE=BASE_PARAMETERS
DATA=PARAMETERS;RUN;

DATA R_CUADRADO(KEEP=_RSQ_ REG);SET SALIDA_REG;
REG=put("&metodo."||" p_valor
"||"&p_valor.",30.);run;
PROC APPEND BASE=BASE_R_CUADRADO
DATA=R_CUADRADO;RUN;

%end;
%end;
%mend;

%regression(disco.Training,disco.validation,v5);

data disco.Regression_Parameters; set BASE_PARAMETERS;run;
data disco.Regression_R2; set BASE_R_CUADRADO;run;
data disco.Regression_Predictions; set BASE_PREDICCIONES;run;

proc sql noprint;
create table media AS SELECT
REG,
mean(v5) as media_v5
from BASE_PREDICCIONES group by REG;
quit;
run;
/*la media de v5 es 14,5345562913907*/

DATA BASE_PREDICCIONES2; set BASE_PREDICCIONES;
media_v5= 14.5345562913907;
Dif_cuadrada_real_estim = (v5 - MODEL1)**2;
Dif_cuadrada_real_media = (v5 - media_v5)**2;run;

proc sql noprint;
create table SUMATORY_NUM AS SELECT
SUM(Dif_cuadrada_real_estim) AS SUMATORIO_NUM,
REG
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
FROM BASE_PREDICCIONES2 group by REG;
quit;
run;

proc sql noprint;
create table SUMATORY_DEN AS SELECT
    SUM(Dif_cuadrada_real_media) AS SUMATORIO_DEN,
    REG
FROM BASE_PREDICCIONES2 group by REG;
quit;
run;

DATA RSQ_VALIDATION;
MERGE SUMATORY_NUM SUMATORY_DEN;
BY REG;RUN;

DATA RSQ_VALIDATION; SET RSQ_VALIDATION;
RSQ_VALIDACION = 1 - (SUMATORIO_NUM / SUMATORIO_DEN);RUN;

PROC SQL;
    CREATE TABLE WORK.QUERY_FOR_RSQ_VALIDATION AS
    SELECT t1.SUMATORIO_NUM,
           t1.REG,
           t1.SUMATORIO_DEN,
           t1.RSQ_VALIDACION
    FROM WORK.RSQ_VALIDATION t1
    WHERE t1.RSQ_VALIDACION <= 1 AND t1.RSQ_VALIDACION >= -1
    ORDER BY t1.RSQ_VALIDACION DESC;
QUIT;

data disco.Regression_R2_Validation; set
QUERY_FOR_RSQ_VALIDATION;run;

/*****
*****

REGRESIÓN LINEAL tradicional var mismo día

*****
*****/

proc sort data=disco.final2;by v1;run;
%macro crear_var_dif(num_var); /*borrar work antes de ejecutar*/
    data dif1;stop;run;
    data dif2;stop;run;
    data dif3;stop;run;
    data ret1;stop;run;
    data ret2;stop;run;
    data ret3;stop;run;
    data ret4;stop;run;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
data ret5;stop;run;
%do i=2 %to &num_var;
    data aux1 (keep= v1 v&i);
        set disco.final2;
    run;
    proc sort data=aux1;
        by v1;
    run;
    data aux1;
        set aux1;
        dif_daily_v&i= (lag1(v&i) -
v&i)/(lag1(v&i));
        dif_weekly_v&i=
(v&i/(mean(lag5(v&i),lag4(v&i),lag3(v&i),lag2(v&i),lag1(v&i))))-
1;
        dif_monthly_v&i=
(v&i/(mean(lag21(v&i),lag20(v&i),lag19(v&i),lag18(v&i),lag17(v&i)
),lag16(v&i),lag15(v&i),lag14(v&i),lag13(v&i),lag12(v&i),lag11(v
&i),lag10(v&i),lag9(v&i),lag8(v&i),lag7(v&i),lag6(v&i),lag5(v&i)
,lag4(v&i),lag3(v&i),lag2(v&i),lag1(v&i))))-1;
        retardo_1_v&i= lag1(v&i);
        retardo_2_v&i= lag2(v&i);
        retardo_3_v&i= lag3(v&i);
        retardo_4_v&i= lag4(v&i);
        retardo_5_v&i= lag5(v&i);
    run;
    data output1(keep = v1 dif_daily id);
        set aux1;
        id=put(&i,best10.);
        dif_daily= dif_daily_v&i;
    run;
    data output2(keep = v1 dif_weekly id);
        set aux1;
        id=put(&i,best10.);
        dif_weekly= dif_weekly_v&i;
    run;
    data output3(keep = v1 dif_monthly id);
        set aux1;
        id=put(&i,best10.);
        dif_monthly= dif_monthly_v&i;
    run;
    data output4(keep = v1 retardo_1 id);
        set aux1;
        id=put(&i,best10.);
        retardo_1= retardo_1_v&i;
    run;
    data output5(keep = v1 retardo_2 id);
        set aux1;
        id=put(&i,best10.);
        retardo_2= retardo_2_v&i;
    run;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
data output6(keep = v1 retardo_3 id);
  set aux1;
  id=put(&i,best10.);
  retardo_3= retardo_3_v&i;
run;
data output7(keep = v1 retardo_4 id);
  set aux1;
  id=put(&i,best10.);
  retardo_4= retardo_4_v&i;
run;
data output8(keep = v1 retardo_5 id);
  set aux1;
  id=put(&i,best10.);
  retardo_5= retardo_5_v&i;
run;
data dif1;
  set dif1 output1;
run;
data dif2;
  set dif2 output2;
run;
data dif3;
  set dif3 output3;
run;
data ret1;
  set ret1 output4;
run;
data ret2;
  set ret2 output5;
run;
data ret3;
  set ret3 output6;
run;
data ret4;
  set ret4 output7;
run;
data ret5;
  set ret5 output8;
run;

%end;
%mend crear_var_dif;

%crear_var_dif(220)

proc sort data=dif1;by v1;run;
proc sort data=dif2;by v1;run;
proc sort data=dif3;by v1;run;
proc sort data=ret1;by v1;run;
proc sort data=ret2;by v1;run;
proc sort data=ret3;by v1;run;
proc sort data=ret4;by v1;run;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
proc sort data=ret5;by v1;run;

proc transpose data=dif1 out=dif1_trans prefix=dif_daily_v;
by v1;var dif_daily;id id; run;
proc transpose data=dif2 out=dif2_trans prefix=dif_weekly_v;
by v1;var dif_weekly;id id; run;
proc transpose data=dif3 out=dif3_trans prefix=dif_monthly_v;
by v1;var dif_monthly;id id; run;
proc transpose data=ret1 out=ret1_trans prefix=ret1_v;
by v1;var retardo_1;id id; run;
proc transpose data=ret2 out=ret2_trans prefix=ret2_v;
by v1;var retardo_2;id id; run;
proc transpose data=ret3 out=ret3_trans prefix=ret3_v;
by v1;var retardo_3;id id; run;
proc transpose data=ret4 out=ret4_trans prefix=ret_4_v;
by v1;var retardo_4;id id; run;
proc transpose data=ret5 out=ret5_trans prefix=ret_5_v;
by v1;var retardo_5;id id; run;

proc sort data=disco.final2;by v1;run;
proc sort data=dif1_trans;by v1;run;
proc sort data=dif2_trans;by v1;run;
proc sort data=dif3_trans;by v1;run;
proc sort data=ret1_trans;by v1;run;
proc sort data=ret2_trans;by v1;run;
proc sort data=ret3_trans;by v1;run;
proc sort data=ret4_trans;by v1;run;
proc sort data=ret5_trans;by v1;run;

data union;
merge disco.final2 dif1_trans dif2_trans dif3_trans ret1_trans
ret2_trans ret3_trans ret4_trans ret5_trans;
by v1;
run;

data disco.final3_var_mismo_dia (DROP=_NAME_);
set union;
run;

/*1° eliminamos las 22 primeras obs, dado que las variables de
diferencia, no tendrían sentido para estas 21 primeras.*/
data disco.final4_var_mismo_dia;
set disco.final3_var_mismo_dia;
if v1 <= '03FEB2004'd then delete;
RUN;

/*2° partimos el conjunto de datos.*/

data disco.Training_var_mismo_dia;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
set disco.final4_var_mismo_dia;
if v1 > '31DEC2014'd then delete;
run;

data disco.Validation_var_mismo_dia;
set disco.final4_var_mismo_dia;
if v1 < '01JAN2015'd or v1 > '31DEC2017'd then delete;
run;

data disco.Test_var_mismo_dia;
set disco.final4_var_mismo_dia;
if v1 < '01JAN2018'd then delete;
run;

/*Regresión tradicional*/
%macro regression(data_training,data_validation,vardepen);

%let lista_selection = FORWARD STEPWISE;
%let p_valores = 0.01 0.001 0.0001 0.00001 0.000001 0.0000001
0.00000001;

proc reg data=&data_training. OUTEST = SALIDA_REG edf noprint;
    model &vardepen.= dif_monthly_v100-dif_monthly_v150/
    selection=stepwise ;
run;

proc score data=&data_validation. score= SALIDA_REG
out=BASE_PREDICCIONES type=parms predict;
var dif_monthly_v100-dif_monthly_v150;
run;

data BASE_PARAMETERS (drop= _MODEL_ _TYPE_ _EDF_ _DEPVAR_ _RMSE_
Intercept _RSQ_ _P_ _IN_); set SALIDA_REG;run;
proc transpose data=BASE_PARAMETERS out=BASE_PARAMETERS;run;
data BASE_PARAMETERS;set BASE_PARAMETERS; if COL1=. then
delete;run;
data BASE_PARAMETERS (keep= _NAME_ REG);set
BASE_PARAMETERS;REG=put ("NULO_PRUEBAS",30.);run;

DATA BASE_R_CUADRADO(KEEP=_RSQ_ REG);SET
SALIDA_REG;REG=put ("NULO_PRUEBAS",30.);run;
DATA BASE_PREDICCIONES(KEEP=V1 V5 MODEL1 REG);SET
BASE_PREDICCIONES;REG=put ("NULO_PRUEBAS",30.);run;

%do j=1 %to 2;

    %let metodo=%scan(&lista_selection., &j., " ");

        %do p=1 %to 7;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```

    %let p_valor=%scan(&p_valores., &p., " ");

    proc reg data=&data_training. OUTEST =
SALIDA_REG edf NOPRINT;
        model &vardepen.= v2-v4 v6--ret_5_v220/
selection=&metodo. slentry=&p_valor. slstay=&p_valor.;
        run;

    proc score data=&data_validation.
score=SALIDA_REG out=PREDICCIONES type=parms predict;
        var v2-v4 v6--ret_5_v220;
        run;
    DATA PREDICCIONES(KEEP=V1 V5 MODEL1 REG);SET
PREDICCIONES;
    REG=put("&metodo."||" p_valor
"||"&p_valor.",30.);run;
    PROC APPEND BASE=BASE_PREDICCIONES
DATA=PREDICCIONES;RUN;

    data PARAMETERS (drop= _MODEL_ _TYPE_ _EDF_
_DEPVAR_ _RMSE_ Intercept _RSQ_ _P_ _IN_); set SALIDA_REG;run;
    proc transpose data=PARAMETERS
out=PARAMETERS;run;
    data PARAMETERS;set PARAMETERS; if COL1=. then
delete;run;
    data PARAMETERS (KEEP= _NAME_ REG);set
PARAMETERS;
    REG=put("&metodo."||" p_valor
"||"&p_valor.",30.);run;
    PROC APPEND BASE=BASE_PARAMETERS
DATA=PARAMETERS;RUN;

    DATA R_CUADRADO(KEEP=_RSQ_ REG);SET SALIDA_REG;
    REG=put("&metodo."||" p_valor
"||"&p_valor.",30.);run;
    PROC APPEND BASE=BASE_R_CUADRADO
DATA=R_CUADRADO;RUN;

    %end;
%end;
%mend;

%regression(disco.Training_var_mismo_dia,disco.validation_var_mi
smo_dia,v5);

data disco.Regression_Parameters_mismodia; set
BASE_PARAMETERS;run;
data disco.Regression_R2_mismodia; set BASE_R_CUADRADO;run;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
data disco.Regression_Predictions_mismodia; set  
BASE_PREDICCIONES; run;
```

```
proc sql noprint;  
create table media AS SELECT  
    REG,  
    mean(v5) as media_v5  
from BASE_PREDICCIONES group by REG;  
quit;  
run;  
/*la media de v5 es 14,5345562913907*/
```

```
DATA BASE_PREDICCIONES2; set BASE_PREDICCIONES;  
media_v5= 14.5345562913907;  
Dif_cuadrada_real_estim = (v5 - MODEL1)**2;  
Dif_cuadrada_real_media = (v5 - media_v5)**2; run;
```

```
proc sql noprint;  
create table SUMATORY_NUM AS SELECT  
    SUM(Dif_cuadrada_real_estim) AS SUMATORIO_NUM,  
    REG  
FROM BASE_PREDICCIONES2 group by REG;  
quit;  
run;
```

```
proc sql noprint;  
create table SUMATORY_DEN AS SELECT  
    SUM(Dif_cuadrada_real_media) AS SUMATORIO_DEN,  
    REG  
FROM BASE_PREDICCIONES2 group by REG;  
quit;  
run;
```

```
DATA RSQ_VALIDATION;  
MERGE SUMATORY_NUM SUMATORY_DEN;  
BY REG; RUN;
```

```
DATA RSQ_VALIDATION; SET RSQ_VALIDATION;  
RSQ_VALIDACION = 1 - (SUMATORIO_NUM / SUMATORIO_DEN); RUN;
```

```
PROC SQL;  
    CREATE TABLE WORK.QUERY_FOR_RSQ_VALIDATION AS  
    SELECT t1.SUMATORIO_NUM,  
        t1.REG,  
        t1.SUMATORIO_DEN,  
        t1.RSQ_VALIDACION  
    FROM WORK.RSQ_VALIDATION t1  
    WHERE t1.RSQ_VALIDACION <= 1 AND t1.RSQ_VALIDACION >= -1  
    ORDER BY t1.RSQ_VALIDACION DESC;  
QUIT;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
data disco.Regression_R2Validationmismodia; set
QUERY_FOR_RSQ_VALIDATION; run;

/*MODELO GANADOR STEPWISE p_valor 0.0001*/

proc reg data=disco.Training_var_mismo_dia OUTEST = SALIDA_REG
edf;
    model v5= v2-v4 v6--ret_5_v220/ selection=STEPWISE
slentry=0.0001 slstay=0.0001;
run;

/*Confidence limits for regression line*/

PROC GPLOT DATA = dat . bp ;
PLOT bp * obese / HAXIS = AXIS1 VAXIS = AXIS2 ;
SYMBOL1 V= CIRCLE I = RLCLM95 L =1;
RUN ; QUIT ;

/*Plots for model checking in the HTML output*/
ODS GRAPHICS ON ;
PROC REG DATA = disco.Training_var_mismo_dia PLOTS =(
DIAGNOSTICS RESIDUALS ( SMOOTH ));
model v5= v2-v4 v6--ret_5_v220/ selection=STEPWISE
slentry=0.0001 slstay=0.0001 CLB;
RUN ;
ODS GRAPHICS OFF;

/*RESIDUAL AND PREDICTED VALUES*/
PROC REG DATA = dat . bp ;
MODEL bp = obese / CLB ;
OUTPUT OUT = WORK . ch P= forv R= resid ;
RUN ;

PROC GPLOT DATA = WORK . ch ;
PLOT resid *( obese forv ) /
HAXIS = AXIS1
VAXIS = AXIS2
VREF =0
CVREF = GRAYAA
LVREF =33;
SYMBOL1 V= CIRCLE CV = BLACK H =2 I= SM75S CI = RED L =8 W =3;
RUN ; QUIT ;
```

### 1.1.2. Redes

```
libname disco 'C:\Users\Usuario\Documents\tfm\datos\PROYECTO
SAS';
RUN;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```

/*****
*****
*****
*****

REDES NEURONALES

*****
*****
*****
*****/

/* Tras terminar el apartado de Regresión, se crearán sets de
variables con los mejores conjuntos de variables de los modelos
predictivos hallados en las Regresiones*/

/* SET PERTENECIENTE A LOS PARÁMETROS DEL MODELO DE RANDOM REG
'3650 BACKWARD num_var 25 p_valor 0.0001' con 4 vars (1° en la
clasificación de R2 de validación) */
proc dmdb data = disco.training dmdbcat = SET1;
    target v5;
    var ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 v5;
run;

/* SET PERTENECIENTE A LOS PARÁMETROS DEL MODELO DE RANDOM REG
'6920 BACKWARD num_var 50 p_valor 0.000001' con 4 vars (2° en la
clasificación de R2 de validación) */
proc dmdb data = disco.training dmdbcat = SET2;
    target v5;
    var ret1_v5 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 v5;
run;

/* SET PERTENECIENTE A LOS PARÁMETROS DEL MODELO DE RANDOM REG
'812 FORWARD num_var 50 p_valor 0.01' con 5 vars (3° en la
clasificación de R2 de validación) */
proc dmdb data = disco.training dmdbcat = SET3;
    target v5;
    var dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162 dif_daily_v24
ret1_v5 v5;
run;

/* SET PERTENECIENTE A LA COMBINACIÓN DE VARS ÚNICAS DE LOS TRES
SETS ANTERIORES con 12 vars */
proc dmdb data = disco.training dmdbcat = SET4;
    target v5;
    var ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166
ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162
dif_daily_v24 v5;
run;

```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
/* SET PERTENECIENTE A LOS PARÁMETROS DEL MODELO DE RANDOM REG
'2813 ADJRSQ num_var 50 p_valor 0.01' con 27 vars (1° en la
clasificación de R2 de training)*/
proc dmdb data = disco.training dmdbcat = SET5;
    target v5;
    var dif_weekly_v34 dif_monthly_v65 dif_monthly_v12
ret_5_v145 dif_daily_v34    ret_4_v3 dif_daily_v35 ret2_v133
ret_4_v203 ret1_v102 ret1_v36 ret_4_v18 ret2_v113 ret3_v197
ret_5_v5 ret3_v156 ret1_v5 ret_4_v112 dif_weekly_v191
dif_monthly_v129 ret_5_v157 dif_monthly_v193 ret1_v158 ret2_v45
ret_4_v206 ret_5_v44 ret3_v33 v5;
run;

/* SET PERTENECIENTE A LA COMBINACIÓN DE VARS ÚNICAS DE TODOS
LOS PARÁMETROS DE LOS MODELOS RESULTANTES DE LA REGRESIÓN
TRADICIONAL con 36 vars */
proc dmdb data = disco.training dmdbcat = SET6;
    target v5;
    var dif_daily_v2 dif_daily_v13 dif_daily_v16 dif_daily_v27
dif_daily_v32 dif_daily_v87 dif_daily_v128 dif_daily_v150
dif_weekly_v24 dif_weekly_v35 dif_weekly_v44 dif_weekly_v70
dif_weekly_v71 dif_monthly_v71 dif_monthly_v189 dif_monthly_v215
ret1_v2 ret1_v3 ret1_v4 ret1_v5 ret1_v97 ret2_v2 ret2_v186
ret_4_v2 ret_4_v101 ret_5_v113 dif_weekly_v66 dif_weekly_v124
dif_weekly_v141 dif_weekly_v151 dif_monthly_v24 dif_monthly_v106
dif_monthly_v153 dif_monthly_v200 ret1_v80 ret3_v202 v5;
run;

/* SET PERTENECIENTE A LA primera mitad de la COMBINACIÓN DE
VARS ÚNICAS DE TODOS LOS PARÁMETROS DE LOS MODELOS RESULTANTES
DE LA Random Reg con un R2 de validación igual o superior a
0,896 con 35 vars */
proc dmdb data = disco.training dmdbcat = SET7;
    target v5;
    var ret3_v164 ret3_v150 ret1_v5 ret2_v151 dif_daily_v24
ret3_v107 dif_weekly_v178 ret3_v162 ret1_v70 ret2_v166 ret1_v143
ret2_v186 ret2_v214 ret1_v7 dif_weekly_v111 ret_5_v160
ret_5_v193 dif_monthly_v215 ret_4_v149 ret_5_v66 ret_5_v202
ret_5_v33 ret3_v161 ret_4_v24 ret3_v166 ret2_v143
dif_weekly_v202 ret1_v122 ret1_v162 ret1_v172 ret_5_v165
ret1_v181 ret_5_v70 ret2_v145 ret1_v164 v5;
run;

/* SET PERTENECIENTE A LA segunda mitad de la COMBINACIÓN DE
VARS ÚNICAS DE TODOS LOS PARÁMETROS DE LOS MODELOS RESULTANTES
DE LA Random Reg con un R2 de validación igual o superior a
0,896 con 36 vars */
proc dmdb data = disco.training dmdbcat = SET8;
    target v5;
    var ret_4_v107 dif_monthly_v4 ret2_v171 ret_4_v146 ret2_v70
ret2_v106 ret_4_v134 ret_4_v165 ret1_v160 ret_5_v141 ret2_v24
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
ret3_v170 dif_weekly_v71 ret2_v162 dif_daily_v39 ret3_v171
ret_5_v142 ret3_v190 ret3_v51 ret_4_v148 dif_weekly_v41
ret_5_v118 ret1_v186 ret_4_v76 dif_weekly_v14 ret3_v165
dif_monthly_v49 ret_4_v9 dif_monthly_v178 ret3_v24 ret_5_v162
dif_daily_v181 dif_monthly_v3 ret1_v163 ret3_v41 ret2_v85 v5;
run;

/* SET PERTENECIENTE A LA COMBINACIÓN DE VARS ÚNICAS DE TODOS
LOS PARÁMETROS DE LOS MODELOS RESULTANTES DE LA Random Reg con
un R2 de validación igual o superior a 0,896 con 71 vars */
proc dmdb data = disco.training dmdbcat = SET9;
    target v5;
    var ret3_v164 ret3_v150 ret1_v5 ret2_v151 dif_daily_v24
ret3_v107 dif_weekly_v178 ret3_v162 ret1_v70 ret2_v166 ret1_v143
ret2_v186 ret2_v214 ret1_v7 dif_weekly_v111 ret_5_v160
ret_5_v193 dif_monthly_v215 ret_4_v149 ret_5_v66 ret_5_v202
ret_5_v33 ret3_v161 ret_4_v24 ret3_v166 ret2_v143
dif_weekly_v202 ret1_v122 ret1_v162 ret1_v172 ret_5_v165
ret1_v181 ret_5_v70 ret2_v145 ret1_v164 ret_4_v107
dif_monthly_v4 ret2_v171 ret_4_v146 ret2_v70 ret2_v106
ret_4_v134 ret_4_v165 ret1_v160 ret_5_v141 ret2_v24 ret3_v170
dif_weekly_v71 ret2_v162 dif_daily_v39 ret3_v171 ret_5_v142
ret3_v190 ret3_v51 ret_4_v148 dif_weekly_v41 ret_5_v118
ret1_v186 ret_4_v76 dif_weekly_v14 ret3_v165 dif_monthly_v49
ret_4_v9 dif_monthly_v178 ret3_v24 ret_5_v162 dif_daily_v181
dif_monthly_v3 ret1_v163 ret3_v41 ret2_v85 v5;
run;

%macro redes(data_training,data_validation,vardepen);

%let sets = SET1 SET2 SET3 SET4 SET5 SET6 SET7 SET8 SET9;
/*ASOCIO EL NÚMERO DE NODOS PERSONALIZADO PARA CADA SET DE VARS,
DETERMINADO POR EL NÚMERO DE VARS QUE CONTIENE CADA SET*/
%let num_NODOS_set = 1 1 1 3 5 10 10 10 20; /*2 2 2 5 11 15 15
15 28 (con esta cantidad de nodos no se ejecuta) */
%let Fs_act = arc log tanh;

data union;run;
data union_tr;run;

%do i=1 %to 9;

    %let set=%scan(&sets., &i., " ");
    %let num_var=%scan(&num_NODOS_set., &i., " ");

    %IF &i. = 1 %then
        %let VBLES = ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151
ret3_v150;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
        %ELSE %IF &i. = 2 %then
            %let VBLES = ret1_v5 ret2_v166 ret1_v70
ret1_v143;
        %ELSE %IF &i. = 3 %then
            %let VBLES = dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162
dif_daily_v24 ret1_v5;
        %ELSE %IF &i. = 4 %then
            %let VBLES = ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151
ret3_v150 ret2_v166 ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107
ret3_v162 dif_daily_v24;
        %ELSE %IF &i. = 5 %then
            %let VBLES = dif_weekly_v34 dif_monthly_v65
dif_monthly_v12 ret_5_v145 dif_daily_v34 ret_4_v3 dif_daily_v35
ret2_v133 ret_4_v203 ret1_v102 ret1_v36 ret_4_v18 ret2_v113
ret3_v197 ret_5_v5 ret3_v156 ret1_v5 ret_4_v112 dif_weekly_v191
dif_monthly_v129 ret_5_v157 dif_monthly_v193 ret1_v158 ret2_v45
ret_4_v206 ret_5_v44 ret3_v33;
        %ELSE %IF &i. = 6 %then
            %let VBLES = dif_daily_v2 dif_daily_v13
dif_daily_v16 dif_daily_v27 dif_daily_v32 dif_daily_v87
dif_daily_v128 dif_daily_v150 dif_weekly_v24 dif_weekly_v35
dif_weekly_v44 dif_weekly_v70 dif_weekly_v71 dif_monthly_v71
dif_monthly_v189 dif_monthly_v215 ret1_v2 ret1_v3 ret1_v4
ret1_v5 ret1_v97 ret2_v2 ret2_v186 ret_4_v2 ret_4_v101
ret_5_v113 dif_weekly_v66 dif_weekly_v124 dif_weekly_v141
dif_weekly_v151 dif_monthly_v24 dif_monthly_v106
dif_monthly_v153 dif_monthly_v200 ret1_v80 ret3_v202;
        %ELSE %IF &i. = 7 %then
            %let VBLES = ret3_v164 ret3_v150 ret1_v5
ret2_v151 dif_daily_v24 ret3_v107 dif_weekly_v178 ret3_v162
ret1_v70 ret2_v166 ret1_v143 ret2_v186 ret2_v214 ret1_v7
dif_weekly_v111 ret_5_v160 ret_5_v193 dif_monthly_v215
ret_4_v149 ret_5_v66 ret_5_v202 ret_5_v33 ret3_v161 ret_4_v24
ret3_v166 ret2_v143 dif_weekly_v202 ret1_v122 ret1_v162
ret1_v172 ret_5_v165 ret1_v181 ret_5_v70 ret2_v145 ret1_v164;
        %ELSE %IF &i. = 8 %then
            %let VBLES = ret_4_v107 dif_monthly_v4 ret2_v171
ret_4_v146 ret2_v70 ret2_v106 ret_4_v134 ret_4_v165 ret1_v160
ret_5_v141 ret2_v24 ret3_v170 dif_weekly_v71 ret2_v162
dif_daily_v39 ret3_v171 ret_5_v142 ret3_v190 ret3_v51 ret_4_v148
dif_weekly_v41 ret_5_v118 ret1_v186 ret_4_v76 dif_weekly_v14
ret3_v165 dif_monthly_v49 ret_4_v9 dif_monthly_v178 ret3_v24
ret_5_v162 dif_daily_v181 dif_monthly_v3 ret1_v163 ret3_v41
ret2_v85;
        %ELSE %IF &i. = 9 %then
            %let VBLES = ret3_v164 ret3_v150 ret1_v5
ret2_v151 dif_daily_v24 ret3_v107 dif_weekly_v178 ret3_v162
ret1_v70 ret2_v166 ret1_v143 ret2_v186 ret2_v214 ret1_v7
dif_weekly_v111 ret_5_v160 ret_5_v193 dif_monthly_v215
ret_4_v149 ret_5_v66 ret_5_v202 ret_5_v33 ret3_v161 ret_4_v24
ret3_v166 ret2_v143 dif_weekly_v202 ret1_v122 ret1_v162
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
ret1_v172 ret_5_v165 ret1_v181 ret_5_v70 ret2_v145 ret1_v164
ret_4_v107 dif_monthly_v4 ret2_v171 ret_4_v146 ret2_v70
ret2_v106 ret_4_v134 ret_4_v165 ret1_v160 ret_5_v141 ret2_v24
ret3_v170 dif_weekly_v71 ret2_v162 dif_daily_v39 ret3_v171
ret_5_v142 ret3_v190 ret3_v51 ret_4_v148 dif_weekly_v41
ret_5_v118 ret1_v186 ret_4_v76 dif_weekly_v14 ret3_v165
dif_monthly_v49 ret_4_v9 dif_monthly_v178 ret3_v24 ret_5_v162
dif_daily_v181 dif_monthly_v3 ret1_v163 ret3_v41 ret2_v85;

%do j=1 %to 3;

%let F_act=%scan(&Fs_act., &j., " ");

%do num_nodo=1 %to &num_var.;

proc neural data=&data_training. dmdbcat=
&set.;

nloptions noprint;
input &VBLES.; /*sin la v.obetivo*/
target &vardepen.;
train tech=levmar;
hidden &num_nodo./ act=&F_act.;
score data=&data_training.

out=salpredi_tr;

score data=&data_validation.

out=salpredi;

run;

data salpredi (keep= v1 v5 P_v5 RED);set
salpredi;RED=put("&SET. "||"&F_act."||" Num_Nodos
"||"&num_nodo.",25.);

data union;set union salpredi;run;
data salpredi_tr (keep= v1 v5 P_v5
RED);set salpredi_tr;RED=put("&SET. "||"&F_act."||" Num_Nodos
"||"&num_nodo.",25.);

data union_tr;set union_tr
salpredi_tr;run;

%end;
%end;
%end;

data union;set union;/*if _n_=1 then delete;*/run;
proc print data=union;run;
data union_tr;set union_tr;/*if _n_=1 then delete;*/run;
proc print data=union_tr;run;
%mend;

%redes(disco.training,disco.validation,v5);
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
/* AHORA A CALCULAR LOS R2 DE ENTRENAMIENTO Y VALIDACIÓN CON LAS
PREDCIONES GUARDADAS EN UNIÓN (VALIDACIÓN) Y UNIÓN_TR
(ENTRENAMIENTO) */

/* PRIMERO EL R2 DE ENTRENAMIENTO */
proc sql /*noprnt*/;
create table media AS SELECT
    RED,
    mean(v5) as media_v5
from UNION_TR group by RED;
quit;
run;
/*la media de v5 EN TRAINING es 19.650957408*/

DATA UNION_TR2; set UNION_TR;
media_v5= 19.650957408;
Dif_cuadrada_real_estim = (v5 - P_v5)**2;
Dif_cuadrada_real_media = (v5 - media_v5)**2; run;

proc sql noprint;
create table SUMATORY_NUM AS SELECT
    SUM(Dif_cuadrada_real_estim) AS SUMATORIO_NUM,
    RED
FROM UNION_TR2 group by RED;
quit;
run;

proc sql noprint;
create table SUMATORY_DEN AS SELECT
    SUM(Dif_cuadrada_real_media) AS SUMATORIO_DEN,
    RED
FROM UNION_TR2 group by RED;
quit;
run;

DATA RSQ_TRAINING_REDES;
MERGE SUMATORY_NUM SUMATORY_DEN;
BY RED; RUN;

DATA RSQ_TRAINING_REDES; SET RSQ_TRAINING_REDES;
RSQ_TRAINING = 1 - (SUMATORIO_NUM / SUMATORIO_DEN); RUN;

PROC SQL;
CREATE TABLE WORK.QUERY_FOR_RSQ_TRAINING_REDES AS
SELECT t1.SUMATORIO_NUM,
       t1.RED,
       t1.SUMATORIO_DEN,
       t1.RSQ_TRAINING
FROM WORK.RSQ_TRAINING_REDES t1
WHERE t1.RSQ_TRAINING <= 1 AND t1.RSQ_TRAINING >= -1
ORDER BY t1.RSQ_TRAINING DESC;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
QUIT;

data disco.REDES_R2_Training; set
QUERY_FOR_RSQ_TRAINING_REDES; run;

/* ahora R2 de validación*/

proc sql /*noprint*/;
create table media AS SELECT
    RED,
    mean(v5) as media_v5
from 'UNION'n group by RED;
quit;
run;
/*la media de v5 EN validation es 14.534556291*/

DATA UNION2; set UNION;
media_v5= 14.534556291;
Dif_cuadrada_real_estim = (v5 - P_v5)**2;
Dif_cuadrada_real_media = (v5 - media_v5)**2; run;

proc sql noprint;
create table SUMATORY_NUM AS SELECT
    SUM(Dif_cuadrada_real_estim) AS SUMATORIO_NUM,
    RED
FROM UNION2 group by RED;
quit;
run;

proc sql noprint;
create table SUMATORY_DEN AS SELECT
    SUM(Dif_cuadrada_real_media) AS SUMATORIO_DEN,
    RED
FROM UNION2 group by RED;
quit;
run;

DATA RSQ_validation_REDES;
MERGE SUMATORY_NUM SUMATORY_DEN;
BY RED; RUN;

DATA RSQ_validation_REDES; SET RSQ_validation_REDES;
RSQ_VALIDATION = 1 - (SUMATORIO_NUM / SUMATORIO_DEN); RUN;

PROC SQL;
CREATE TABLE WORK.QUERY_FOR_RSQ_validation_REDES AS
SELECT t1.SUMATORIO_NUM,
       t1.RED,
       t1.SUMATORIO_DEN,
       t1.RSQ_VALIDATION
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
FROM WORK.RSQ_validation_REDES t1
WHERE t1.RSQ_VALIDATION <= 1 AND t1.RSQ_VALIDATION >= -1
ORDER BY t1.RSQ_VALIDATION DESC;
```

**QUIT;**

```
data disco.REDES_R2_Validation; set
QUERY_FOR_RSQ_validation_REDES; run;
```

*/\*el modelo ganador de validación es:\*/*

```
proc neural data=disco.training dmdbcat= SET4;
  nloptions noprint;
  input ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166
ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162
dif_daily_v24; /*sin la v.obetivo*/
  target V5;
  train tech=levmar;
  hidden 10;
  score data=disco.validation out=salpredi outfit=salfit;
run;
```

### 1.1.3. Comparación Redes VS Regresión

```
libname disco 'C:\Users\Usuario\Documents\tfm\datos\PROYECTO
SAS';
RUN;
```

*/\* Comparación de los mejores modelos de redes y regresión según los datos de Test\*/*

*/\* Probar datos test con modelo ganador reg\*/*

```
proc reg data=DISCO.training OUTEST = SALIDA_REG edf;
  model V5= ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166
ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162
dif_daily_v24/ selection=ADJRSQ slentry=0.001 slstay=0.001;
run;
```

```
data SALIDA_REG ; set SALIDA_REG (obs=1); run;
```

```
proc score data=DISCO.test score=SALIDA_REG out=PREDICCIONES
type=parms predict;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
var ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166
ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162
dif_daily_v24;
run;
```

```
/* Probar datos test con modelo ganador redes*/
```

```
proc dmdb data = disco.training dmdbcat = SET4;
target v5;
var ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166
ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162
dif_daily_v24 v5;
run;
```

```
proc neural data=disco.training dmdbcat= SET4;
nloptions noprint;
input ret3_v164 ret1_v5 ret2_v151 ret3_v150 ret2_v166
ret1_v70 ret1_v143 dif_weekly_v178 ret3_v107 ret3_v162
dif_daily_v24; /*sin la v.obetivo*/
target V5;
train tech=levmar;
hidden 10;
score data=DISCO.test out=salpredi outfit=salfit;
run;
```

```
/*calcular el r2 de test del mejor modelo de redes*/
```

```
data predi (keep= v1 v5 P_v5);set salpredi;run;
```

```
proc sql /*noprint*/;
create table media AS SELECT
mean(v5) as media_v5
from predi;
quit;
run;
```

```
/*la media de v5 EN test es 16.184917355*/
```

```
DATA predi2; set predi;
media_v5= 16.184917355;
Dif_cuadrada_real_estim = (v5 - P_v5)**2;
Dif_cuadrada_real_media = (v5 - media_v5)**2;run;
```

```
proc sql noprint;
create table SUMATORY_NUM AS SELECT
SUM(Dif_cuadrada_real_estim) AS SUMATORIO_NUM
FROM predi2;
quit;
run;
```

```
proc sql noprint;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
create table SUMATORY_DEN AS SELECT
    SUM(Dif_cuadrada_real_media) AS SUMATORIO_DEN
FROM predi2;
quit;
run;

DATA RSQ_test_mejor_red;
MERGE SUMATORY_NUM SUMATORY_DEN;
RUN;

DATA RSQ_test_mejor_red; SET RSQ_test_mejor_red;
RSQ_test = 1 - (SUMATORIO_NUM / SUMATORIO_DEN); RUN;
data disco.REDES_R2_Test_mejor_red; set RSQ_test_mejor_red; run;
```

### 1.1.1. Mecanismo de negociación

```
libname disco 'C:\Users\Usuario\Documents\tfm\datos\PROYECTO
SAS';
RUN;

/* GRÁFICO DEL VIX*/

title "Índice VIX (2018)";
proc sgplot data=DISCO.test;
    xaxis type=LINEAR LABEL=" ";
    YAXIS LABEL="Cierre diario";
    series x=V1 y=V5;
run;
title;

/*ProShares Ultra VIX Short Term Futures ETF*/
data disco.ProShares_Ultra_VIX ETF;
set 'Datos históricos UVXY ProShares'n; run;

/* GRÁFICO DEL proshare ultrashort etf*/

title "Cotización Proshares Ultra short (2018)";
proc sgplot data=disco.ProShares_Ultra_VIX ETF;
    xaxis type=LINEAR LABEL=" ";
    YAXIS LABEL="Cierre diario";
    series x=Fecha y='Último'n;
run;
title;

/*vix vs PRO SHARES*/

    title "El VIX contra el PROSHARES ULTRA VIX SHORT TERM
FUTURES ETF (2018)";
proc sgplot data=disco.DATOS_ALGORITMO;
yaxis label= "VIX"; Y2AXIS LABEL="PRO SHARES ULTRA VIX SHORT TERM
FUTURES ETF"; XAXIS LABEL=" ";
    series x=V1 y=V5/ curvelabel="VIX";
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
series x=V1 y=PROSHARES_CLOSE_USD/ y2axis curvelabel="PRO
SHARES";
run;
title;

/*iPath VIX Short-term Futures ETN*/
data disco.iPath;set WORK.'Datos históricos VXX iPath®
Seri'n;run;

title "Cotización iPath VIX Short-term Futures ETN (2018)";
proc sgplot data=disco.iPath;
  xaxis type=LINEAR LABEL=" ";
  YAXIS LABEL="Cierre diario";
  series x=Fecha y='Último'n;
run;
title;

/*vix vs iPath*/

title "El VIX contra el iPath VIX Short-term Futures ETN
(2018)";
proc sgplot data=disco.DATOS_ALGORITMO_iPath;
yaxis label= "VIX";Y2AXIS LABEL="iPath VIX Short-term Futures
ETN";XAXIS LABEL=" ";
series x=V1 y=V5/ curvelabel="VIX";
series x=V1 y=iPath_CLOSE_USD/ y2axis curvelabel="iPath";
run;
title;

/* construcción de la base de datos de prueba*/
/*COMO VOY A PREDECIR EL DATO DE MAÑANA CON LOS DATOS DE HOY,
CAMBIO LAS VARS DEL MODELO POR UN DÍA DE DIFERENCIA*/
/* SIENDO EL MODELO ORIGINAL*/
/* -V5 = 2.1302637657 + 0.6840079423*ret3_v164 +
0.9323798646*ret1_v5 + 1.1086595496*ret2_v151 -
1.156638686*ret3_v150 - 0.418348938*ret2_v166 -
0.000488743*ret1_v70 + 0.6757599332*ret1_v143 +
11.701178267*dif_weekly_v178 - 0.000146668*ret3_v107 -
15.40667111*dif_daily_v24*/
/*AHORA ES:*/
/* -V5_MAÑANA = 2.1302637657 + 0.6840079423*ret2_v164 +
0.9323798646*v5 + 1.1086595496*ret1_v151 - 1.156638686*ret2_v150
- 0.418348938*ret1_v166 - 0.000488743*v70 + 0.6757599332*v143 +
11.701178267*dif_weekly_v178 - 0.000146668*ret2_v107 -
15.40667111*dif_daily_v24*/
/*(LOS CAMBIOS DE DIF_DAILY Y WEEKLY SE EFECTÚAN AL CAMBIAR EL
FICHERO DE TEST POR TEST_VARS_MISMO_DÍA*/
data algo(KEEP= V1 V5 ret2_v164 ret1_v151 ret2_v150 ret1_v166
v70 v143 dif_weekly_v178 ret2_v107 dif_daily_v24);
SET DISCO.Test_var_mismo_dia;RUN;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
DATA ALGO2 (KEEP= V1 PROSHARES_CLOSE_USD); SET
DISCO.PROSHARES_ULTRA_VIX ETF; RENAME Fecha=V1
'Último'n=PROSHARES_CLOSE_USD ; run;

proc sort data=ALGO; BY V1; RUN;
proc sort data=ALGO2; BY V1; RUN;

DATA ALGO3;
MERGE ALGO ALGO2; BY V1; RUN;

DATA ALGO4; SET ALGO3; IF V1 > '17DEC2018' D THEN DELETE; RUN;

data algo5; set algo4;
v5_mañana_predictiva= 2.1302637657 + 0.6840079423*ret2_v164 +
0.9323798646*v5 + 1.1086595496*ret1_v151 - 1.156638686*ret2_v150
- 0.418348938*ret1_v166 - 0.000488743*v70 + 0.6757599332*v143 +
11.701178267*dif_weekly_v178 - 0.000146668*ret2_v107 -
15.40667111*dif_daily_v24;
run;

data disco.DATOS_ALGORITMO; SET algo5; RUN;

/*comisiones IG: 2 centavos por participación y un 25% del
margen de ganancia*/
/* ESTRATEGIA A LARGO PLAZO*/
/* MEDIA DEL VALOR DE LA PARTICIPACIÓN DEL ETF EN 2017:
236,079083665339 USD*/
/*CONDICIÓN PARA ENTRAR EN 2018, VALOR MENOR QUE LA MEDIA DE
2017 */

proc sort data=disco.datos_algoritmo; by v1; run;

%macro
ALGORITMO_VIX(DATOS, PRESUPUESTO_USD_INV_INICIAL, DIAS_MERCADO_DUR
ACION ESTRATEGIA, MEDIA_VALOR_ACTIVADO_AÑO_ANTERIOR);

DATA DATOS; SET &DATOS.; dia = _N_; RUN;
data DIARIO; SET _NULL_; RUN;
%LET CARTERA=0;
%let COMPRA=0;
%let VENTA=0;
%let VIX_DIA_INV=0;
%let PRECIO_DIA_INV=0;
%LET BALANCE=0;
%let investment=0;

%do i=1 %to &DIAS_MERCADO_DURACION ESTRATEGIA.;

proc sql;
create table dia_&i. as select * from DATOS where dia=&i.;
quit; run;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
data dia_&i.;set dia_&i.;
CARTERA= symget('CARTERA');
compra= symget('compra');
VENTA= symget('VENTA');
VIX_DIA_INV= symget('VIX_DIA_INV');
PRECIO_DIA_INV= symget('PRECIO_DIA_INV');
BALANCE= symget('BALANCE');
investment= symget('investment');
fecha_movimiento= symget('fecha_movimiento');

IF CARTERA=0 and investment=0 then do;
    if
PROSHARES_CLOSE_USD<&MEDIA_VALOR_ACTIVADO_AÑO_ANTERIOR./4 then do;

    numero_participaciones=round(max(0,&PRESUPUESTO_USD_INV_INI
CIAL./(PROSHARES_CLOSE_USD+0.02)),1);
        call symput('CARTERA',numero_participaciones);
        call symput('VIX_DIA_INV',V5);
        call
symput('PRECIO_DIA_INV',PROSHARES_CLOSE_USD);
        call symput('COMPRA',-
1*(numero_participaciones*PROSHARES_CLOSE_USD+numero_participaci
ones*0.02));
            call symput('venta',0);
            CALL SYMPUT('BALANCE',BALANCE-
1*(numero_participaciones*PROSHARES_CLOSE_USD+numero_participaci
ones*0.02));
                CALL
SYMPUT('investment',numero_participaciones*PROSHARES_CLOSE_USD+n
umero_participaciones*0.02);
                CALL SYMPUT('fecha_movimiento',v1);
            end;
        end;
    else if CARTERA=0 and investment^=0 then do;
        if
PROSHARES_CLOSE_USD<&MEDIA_VALOR_ACTIVADO_AÑO_ANTERIOR./4 and
v5_mañana_predictiva(&VIX_DIA_INV.)*1.4 then do;
            numero_participaciones=
round(max(0,(BALANCE/2)/(PROSHARES_CLOSE_USD+0.02)),1);
                call symput('CARTERA',numero_participaciones);
                /*call symput('VIX_DIA_INV',V5);
                call
symput('PRECIO_DIA_INV',PROSHARES_CLOSE_USD);*/
                call symput('COMPRA',-
1*(numero_participaciones*PROSHARES_CLOSE_USD+numero_participaci
ones*0.02));
                    call symput('venta',0);
                    CALL SYMPUT('BALANCE',BALANCE-
1*(numero_participaciones*PROSHARES_CLOSE_USD+numero_participaci
ones*0.02));
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
CALL SYMPUT('fecha_movimiento',v1);
end;
end;
else if CARTERA^=0 then do;
    if 0.75*(&CARTERA.*PROSHARES_CLOSE_USD)>abs(BALANCE)
AND v5_mañana_predictiva>(&VIX_DIA_INV.)*1.7 then do;
        call
symput('venta',0.75*(&CARTERA.*PROSHARES_CLOSE_USD));
        call symput('compra',0);
        CALL
SYMPUT('BALANCE',BALANCE+0.75*(&CARTERA.*PROSHARES_CLOSE_USD));
        call symput('CARTERA',0);
        CALL SYMPUT('fecha_movimiento',v1);
    end;
end;

fecha_movimiento= symget('fecha_movimiento');
investment= symget('investment');
BALANCE= symget('BALANCE');
CARTERA= symget('CARTERA');
compra= symget('compra');
VENTA= symget('VENTA');
VIX_DIA_INV= symget('VIX_DIA_INV');
PRECIO_DIA_INV= symget('PRECIO_DIA_INV');
run;

data diario;set diario dia_&i.;run;

%end;

PROC SQL;
CREATE TABLE BALANCE AS SELECT DISTINCT
CARTERA, compra, VENTA, balance, investment, fecha_movimiento,
PROSHARES_CLOSE_USD, v5
FROM diario;
QUIT;RUN;

data BALANCE (drop=fecha_movimiento); set BALANCE;
fecha_movimiento2=input(substr(fecha_movimiento,8,5),5.);
format fecha_movimiento2 ddmmyy10.;run;
data BALANCE; set BALANCE;
rename fecha_movimiento2=fecha_movimiento;run;
proc sort data=BALANCE; by fecha_movimiento;run;

%mend ALGORITMO_VIX;

%ALGORITMO_VIX(disco.DATOS_ALGORITMO,10000,242,236.079083665339)
data disco.Proshares_inv_10k;set balance;run;
%ALGORITMO_VIX(disco.DATOS_ALGORITMO,20000,242,236.079083665339)
data disco.Proshares_inv_20k;set balance;run;
%ALGORITMO_VIX(disco.DATOS_ALGORITMO,50000,242,236.079083665339)
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
data disco.Proshares_inv_50k;set balance;run;
%ALGORITMO_VIX(disco.DATOS_ALGORITMO,10000,242,236.079083665339
)
data disco.Proshares_inv_100k;set balance;run;
%ALGORITMO_VIX(disco.DATOS_ALGORITMO,100000,242,236.07908366533
9)
data disco.Proshares_inv_1MM;set balance;run;

/* iPath*/

data algo(KEEP= V1 V5 ret2_v164 ret1_v151 ret2_v150 ret1_v166
v70 v143 dif_weekly_v178 ret2_v107 dif_daily_v24);
SET DISCO.Test_var_mismo_dia;RUN;

DATA ALGO2 (KEEP= V1 iPath_CLOSE_USD); SET DISCO.IPATH;RENAME
Fecha=V1 'Último'n=iPath_CLOSE_USD ;run;

proc sort data=ALGO;BY V1;RUN;
proc sort data=ALGO2;BY V1;RUN;

DATA ALGO3;
MERGE ALGO ALGO2;BY V1;RUN;

DATA ALGO4;SET ALGO3; IF V1>'17DEC2018'D or V1<'19JAN2018'D THEN
DELETE;RUN;

data algo5;set algo4;
v5_mañana_predictiva= 2.1302637657 + 0.6840079423*ret2_v164 +
0.9323798646*v5 + 1.1086595496*ret1_v151 - 1.156638686*ret2_v150
- 0.418348938*ret1_v166 - 0.000488743*v70 + 0.6757599332*v143 +
11.701178267*dif_weekly_v178 - 0.000146668*ret2_v107 -
15.40667111*dif_daily_v24;
run;

data disco.DATOS_ALGORITMO_iPath;SET algo5;RUN;

/*comisiones IG: 2 centavos por participación y un 25% del
margen de ganancia*/
/* ESTRATEGIA A LARGO PLAZO*/
/* MEDIA DEL VALOR DE LA PARTICIPACIÓN DEL ETF EN 2017:
236,079083665339 USD*/
/*CONDICIÓN PARA ENTRAR EN 2018, VALOR MENOR QUE LA MEDIA DE
2017 */

proc sort data=disco.DATOS_ALGORITMO_iPath;by v1;run;

%macro
ALGORITMO_VIX2 (DATOS,PRESUPUESTO_USD_INV_INICIAL,DIAS_MERCADO_DU
RACION ESTRATEGIA,VALOR_BAJO);
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
DATA DATOS;SET &DATOS.;dia = _N_;RUN;
DATA DIARIO; SET _NULL_;RUN;
%LET CARTERA=0;
%let COMPRA=0;
%let VENTA=0;
%let VIX_DIA_INV=0;
%let PRECIO_DIA_INV=0;
%LET BALANCE=0;
%let investment=0;

%do i=1 %to &DIAS_MERCADO_DURACION ESTRATEGIA.;

proc sql;
create table dia_&i. as select * from DATOS where dia=&i.;
quit;run;

data dia_&i.;set dia_&i.;
CARTERA= symget('CARTERA');
compra= symget('compra');
VENTA= symget('VENTA');
VIX_DIA_INV= symget('VIX_DIA_INV');
PRECIO_DIA_INV= symget('PRECIO_DIA_INV');
BALANCE= symget('BALANCE');
investment= symget('investment');
fecha_movimiento= symget('fecha_movimiento');

IF CARTERA=0 and investment=0 then do;
    if iPath_CLOSE_USD<&VALOR_BAJO. then do;

        numero_participaciones=round(max(0,&PRESUPUESTO_USD_INV_INICIAL./
(iPath_CLOSE_USD+0.02)),1);
        call symput('CARTERA',numero_participaciones);
        call symput('VIX_DIA_INV',v5);
        call symput('PRECIO_DIA_INV',iPath_CLOSE_USD);
        call symput('COMPRA',-
1*(numero_participaciones*iPath_CLOSE_USD+numero_participaciones
*0.02));
        call symput('venta',0);
        CALL SYMPUT('BALANCE',BALANCE-
1*(numero_participaciones*iPath_CLOSE_USD+numero_participaciones
*0.02));
        CALL
SYMPUT('investment',numero_participaciones*iPath_CLOSE_USD+numero
o_participaciones*0.02);
        CALL SYMPUT('fecha_movimiento',v1);
    end;
end;
else if CARTERA=0 and investment^=0 then do;
    if iPath_CLOSE_USD<&VALOR_BAJO. and
v5_mañana_predictiva<(&VIX_DIA_INV.)*1.4 then do;
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
        numero_participaciones=
round(max(0, (BALANCE/2)/(iPath_CLOSE_USD+0.02)),1);
        call symput('CARTERA',numero_participaciones);
        /*call symput('VIX_DIA_INV',V5);
        call symput('PRECIO_DIA_INV',iPath_CLOSE_USD);*/
        call symput('COMPRA',-
1*(numero_participaciones*iPath_CLOSE_USD+numero_participaciones
*0.02));
        call symput('venta',0);
        CALL SYMPUT('BALANCE',BALANCE-
1*(numero_participaciones*iPath_CLOSE_USD+numero_participaciones
*0.02));
        CALL SYMPUT('fecha_movimiento',v1);
    end;
end;
else if CARTERA^=0 then do;
    if 0.75*(&CARTERA.*iPath_CLOSE_USD)>abs(BALANCE) AND
v5_mañana_predictiva>(&VIX_DIA_INV.)*1.7 then do;
        call
symput('venta',0.75*(&CARTERA.*iPath_CLOSE_USD));
        call symput('compra',0);
        CALL
SYMPUT('BALANCE',BALANCE+0.75*(&CARTERA.*iPath_CLOSE_USD));
        call symput('CARTERA',0);
        CALL SYMPUT('fecha_movimiento',v1);
    end;
end;

fecha_movimiento= symget('fecha_movimiento');
investment= symget('investment');
BALANCE= symget('BALANCE');
CARTERA= symget('CARTERA');
compra= symget('compra');
VENTA= symget('VENTA');
VIX_DIA_INV= symget('VIX_DIA_INV');
PRECIO_DIA_INV= symget('PRECIO_DIA_INV');
run;

data diario;set diario dia_&i.;run;

%end;

PROC SQL;
CREATE TABLE BALANCE AS SELECT DISTINCT
CARTERA, compra, VENTA, balance, investment, fecha_movimiento,
iPath_CLOSE_USD, v5
FROM diario;
QUIT;RUN;

data BALANCE (drop=fecha_movimiento); set BALANCE;
fecha_movimiento2=input(substr(fecha_movimiento,8,5),5.);
```

## Análisis del índice de volatilidad VIX, y su relación numérica con información global de mercado.

---

```
format fecha_movimiento2 ddmmyy10.;run;
data BALANCE; set BALANCE;
rename fecha_movimiento2=fecha_movimiento;run;
proc sort data=BALANCE; by fecha_movimiento;run;
```

```
%mend ALGORITMO_VIX2;
```

```
%ALGORITMO_VIX2(disco.DATOS_ALGORITMO_iPath,10000,230,36)
data disco.iPath_inv_10k;set balance;run;
%ALGORITMO_VIX2(disco.DATOS_ALGORITMO_iPath,20000,230,36)
data disco.iPath_inv_20k;set balance;run;
%ALGORITMO_VIX2(disco.DATOS_ALGORITMO_iPath,50000,230,36)
data disco.iPath_inv_50k;set balance;run;
%ALGORITMO_VIX2(disco.DATOS_ALGORITMO_iPath,100000,230,36)
data disco.iPath_inv_100k;set balance;run;
%ALGORITMO_VIX2(disco.DATOS_ALGORITMO_iPath,1000000,230,36)
data disco.iPath_inv_1MM;set balance;run;
```