



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

# **LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL ÍNDICE DE VOLATILIDAD DEL CHICAGO BOARD OPTIONS EXCHANGE**

Enfasis en el año 2017

Autora: Hanna Lilian Nowotzin  
Directora: Isabel Catalina Figuerola Ferretti

Madrid  
Marzo, 2018

## RESUMEN

El índice de volatilidad del mercado estadounidense (VIX), un indicador de incertidumbre y miedo en los mercados financieros, ha estado en niveles mínimos históricos durante la mayor parte de 2017 y los inicios de 2018. Este periodo de baja volatilidad ha coexistido con una incertidumbre geopolítica y económica alta causada principalmente por las tensiones entre Corea del Norte y los EE.UU., la inestabilidad en Venezuela y sus posibles efectos en el precio mundial del petróleo, la perenne discordia política en Europa y la incertidumbre política en los EE.UU. (Moyo, 2017). Esa alta incertidumbre ha generado el desconcierto de un gran número de actores del mercado financiero puesto que el índice cotizaba alrededor de los 10 puntos de porcentaje, contra un promedio histórico de aproximadamente 20 puntos. Este comportamiento inesperado ha motivado la presente investigación.

Con el objetivo de analizar los factores que influyen en el comportamiento del VIX, se ha establecido un modelo VAR, basándose en cuatro series temporales (el VIX, el *Federal Funds Rate*, el S&P 500 y el *Western Texas Intermediate*) observados durante un periodo de 12 años. En consonancia con la literatura académica, los resultados destacan que el *Federal Funds Rate* tiene una influencia significativa en el VIX. Finalmente, se observa que los resultados muestran que las reuniones del *Federal Open Market Committee* también tienen una influencia significativa en el VIX.

**Palabras clave:** Índice de volatilidad (VIX), *Federal Funds Rate*, política monetaria, incertidumbre geopolítica, modelo VAR

## **ABSTRACT**

The US Market Volatility Index (VIX), a main indicator of uncertainty and fear in the financial markets, has been at record lows for most of 2017 and the beginning of 2018. This period of low volatility has coexisted with high geopolitical and economic uncertainty which was mainly caused by the threat of an attack between North Korea and the United States of America, the instability in Venezuela and its effects on the world oil price, the perennial political discord in Europe and the political uncertainty in the US (Moyo, 2017). Due to this high uncertainty, many financial market players were puzzled as to why the index was trading at around 10 percentage points against a historical average of approximately 20 points. This unexpected behavior is what aroused the interest in the following investigation.

In order to analyze the factors that influence the behavior of the VIX, a VAR model has been established based on four time series (the VIX, the Federal Funds Rate, the S&P 500 and the Western Texas Intermediate) observed over a period of 12 years. In line with the appropriate academic literature, the findings highlight that the Federal Funds Rate has a significant influence on the VIX. Ultimately, the results show that the meetings of the Federal Open Market Committee also have a significant influence on the VIX.

**Key words:** Volatility index (VIX), Federal Funds Rate, monetary policy, geopolitical uncertainty, VAR model

# ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	II
ÍNDICE DE TABLAS.....	II
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	III
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>2. EL VIX .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 La historia de la volatilidad .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 El VIX y su comportamiento actual .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3 Factores que influyen al VIX.....</b>	<b>13</b>
2.3.1 Incertidumbre geopolítica .....	13
2.3.2 Tasa de interés.....	15
2.3.3 Política monetaria.....	17
2.3.4 El circuito de retroalimentación .....	18
<b>2.4 VIX-Mageddon.....</b>	<b>20</b>
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Investigación.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Variables.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3 Análisis de las series temporales.....</b>	<b>31</b>
3.3.1 Estacionariedad .....	31
3.3.2 Grado de integración .....	33
3.3.3 Elección del modelo adecuado.....	34
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1 Análisis de los resultados del modelo VAR.....</b>	<b>37</b>
<b>4.2 Análisis de la repuesta a impulso.....</b>	<b>41</b>
<b>4.3 División de la muestra.....</b>	<b>47</b>
<b>5. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>52</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>55</b>
<b>7. ANEXO .....</b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: CBOE Volatility Index 2/15-3/18</i> .....	11
<i>Ilustración 2: CBOE Volatility Index (^VIX) enero – marzo 2018</i> .....	20
<i>Ilustración 3: La evolución del VIX</i> .....	25
<i>Ilustración 4: Delta del VIX</i> .....	25
<i>Ilustración 5: La evolución de la tasa de interés</i> .....	26
<i>Ilustración 6: Delta de la tasa de interés</i> .....	26
<i>Ilustración 7: La evolución del S&amp;P 500</i> .....	27
<i>Ilustración 8: Delta del S&amp;P 500</i> .....	28
<i>Ilustración 9: La evolución del West Texas Intermediate</i> .....	29
<i>Ilustración 10: Delta del West Teas Intermediate</i> .....	29
<i>Ilustración 11: Respuesta del delta VIX a un impulso de la variable delta FED Rate</i> ....	42
<i>Ilustración 12: respuesta del VIX al impulso en la variable delta FFR</i> .....	42
<i>Ilustración 13: Respuesta del delta VIX a un impulso de la variable delta SP5</i> .....	43
<i>Ilustración 14: Respuesta del VIX a un impulso de la variable delta SP5</i> .....	44
<i>Ilustración 15: Respuesta del delta VIX a un impulso de la variable delta WTI</i> .....	45
<i>Ilustración 16: Respuesta del delta VIX a un impulso de la variable WTI</i> .....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Los valores críticos del Dickey-Fuller test de la estacionariedad</i> .....	32
<i>Tabla 2: Los valores calculados del Dickey-Fuller test de la estacionariedad</i> .....	32
<i>Tabla 3: Los valores calculados del Dickey-Fuller test para las primeras diferencias</i>	34
<i>Tabla 4: Examinación del orden del VAR</i> .....	35
<i>Tabla 5: Resultado del modelo VAR del orden 4 (primera parte)</i> .....	37
<i>Tabla 6: Resultado del modelo VAR del orden 4 (segunda parte)</i> .....	38
<i>Tabla 7: Contraste F de restricciones cero</i> .....	38
<i>Tabla 8: impulso en la variable delta FFR</i> .....	41
<i>Tabla 9: impulso en la variable delta SP5</i> .....	43
<i>Tabla 10: impulso en la variable delta WTI</i> .....	44
<i>Tabla 11: Resultados de la muestra 1</i> .....	47
<i>Tabla 12: Resultados para la variable reunión</i> .....	47
<i>Tabla 13: Contraste F de restricciones cero para la muestra 1</i> .....	48
<i>Tabla 14: Resultados de la muestra 2</i> .....	48
<i>Tabla 15: Resultados de la muestra 2 para la variable reunión</i> .....	49
<i>Tabla 16: Contraste F de restricciones cero para la muestra 2</i> .....	49
<i>Tabla 17: Resultados de la muestra 3</i> .....	50
<i>Tabla 18: Resultados de la muestra 3 para la variable reunión</i> .....	50
<i>Tabla 19: Contraste F de restricciones cero para la muestra 3</i> .....	51
<i>Tabla 20: contraste de autocorrelación</i> .....	58
<i>Tabla 21: contraste de ARCH</i> .....	59
<i>Tabla 22: Examinación del orden del VAR para la muestra 1</i> .....	59
<i>Tabla 23: Examinación del orden del VAR para la muestra 2</i> .....	60
<i>Tabla 24: Examinación del orden del VAR para la muestra 3</i> .....	60
<i>Tabla 25: Ecuación 1: primeras diferencias del VIX</i> .....	61
<i>Tabla 26: Ecuación 2: primeras diferencias del FEDRate</i> .....	62
<i>Tabla 27: Ecuación 3: primeras diferencias del S&amp;P 500</i> .....	63
<i>Tabla 28: Ecuación 4: primeras diferencias del WTI</i> .....	64

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>AIC</b>	Criterio de Akaike
<b>BIC</b>	Criterio bayesiano de Schwarz
<b>CBOE</b>	Chicago Board Options Exchange
<b><math>\Delta</math></b>	Delta
<b>EE.UU.</b>	Estados Unidos
<b>ETP</b>	Exchange Traded Product
<b>FFR</b>	FED Funds Rate
<b>FOMC</b>	Federal Open Market Committee
<b>HQC</b>	Criterio de Hannan-Quinn
<b>REU</b>	Reunión del Federal Open Market Committee
<b>S&amp;P 500</b>	Standard & Poor's 500
<b>SP5</b>	Standard & Poor's 500
<b>SVXY</b>	ProShares Short VIX Short-Term Future
<b>TAS</b>	Trade at Settlement
<b>UVXY</b>	ProShares Ultra VIX Short-Term Future
<b>VAR</b>	Vectores autoregresivos
<b>VDAX</b>	Índice de volatilidad del Índice Alemán de las Acciones
<b>VEC</b>	Vectores de Corrección del Error
<b>VIX</b>	Índice de volatilidad del Chicago Board Options Exchange
<b>VSTOXX</b>	Índice de volatilidad del Índice Europeo de las Acciones
<b>WTI</b>	West Texas Intermediate

# 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el mundo se rige por incertidumbre política. Desde el Brexit hasta Donald Trump y Corea del Norte, el potencial de agitación se encuentra en máximos históricos. Sin embargo, los mercados financieros reflejan todo lo contrario. El índice de volatilidad del Chicago Board Options Exchange, el VIX, se encontraba en su nivel más bajo en años durante la mayor parte de 2017 e inicios de 2018. Esta fase de volatilidad tan baja es algo que el mercado nunca antes había experimentado de esta manera.

El problema de la volatilidad baja es, como ya observó el economista Hyman Minsky, que la estabilidad crea su propia inestabilidad. Según su hipótesis de inestabilidad los agentes económicos que observan un bajo riesgo financiero aumentan la asunción de riesgos, lo que a su vez puede llevar a una crisis (Minsky, 1992). Es decir, las personas se exceden en sus conocimientos de inversión. Los inversores profesionales prosperan con la volatilidad y tienen más dificultades para ganarse la vida cuando los mercados están calmos, por lo que invierten con dinero prestado para amplificar sus exiguos retornos. Por eso no es sorprendente que la deuda marginal haya crecido tan rápidamente como los precios de las acciones desde el punto más bajo del mercado de 2009 (Bloomberg Businessweek, 2017). Eso hace a los inversores profesionales tan vulnerables a un descenso de precios como a cualquier propietario endeudado.

El VIX es una estimación de la volatilidad del retorno del Standard & Poor's 500 (S&P 500) en el mes posterior derivada de los precios de las opciones del S&P 500, que refleja las expectativas del mercado. Por eso, a menudo, se utiliza el VIX como una representación para analizar el nivel de "miedo" en los mercados financieros. El VIX finalizó por debajo de 10 en solo 26 días hábiles desde 1990 hasta el 2 de agosto de 2017, y 17 de esos días apacibles ocurrieron desde los inicios de mayo de 2017 (Bloomberg Businessweek, 2017). La persistencia de la calma extrema puede haber empujado a los inversores hacia estrategias que podrían explotar si regresa la volatilidad. Lo preocupante no es que la volatilidad sea baja, sino cuánto tiempo ha estado baja. La consecuencia es que los mercados bursátiles en los EE.UU. y otros países son más vulnerables. Esto lleva a la pregunta porque el VIX está en mínimos históricos.



La literatura propone diferentes factores que podrían causar el comportamiento excepcional del VIX, como por ejemplo la tasa de interés básico (Kearney & Lombra, 2014) que también se encuentra en mínimos históricos (Federal Reserve, 2017). Otro aspecto por el cual el índice podría encontrarse en estos bajos niveles es que las condiciones económicas mundiales, al contrario de lo que uno las percibe, realmente son favorables (O'Neill, 2017). El Fondo Monetario Internacional ha corregido su estimación del producto interior bruto global al alza y, en particular, se observa una aceleración del crecimiento en Europa, Japón, China y Estados Unidos (Fondo Monetario Internacional, 2017). Otros autores como Posen están convencidos de que el impacto del riesgo geopolítico en sí solo tiene un pequeño impacto en los mercados financieros (Posen, 2017).

Dado que este fenómeno es relativamente reciente, hay escasos estudios disponibles que analicen en profundidad el comportamiento actual del VIX. Con respecto a esto, la investigación sirve para estudiar la influencia de los factores a partir de la literatura para explicar el comportamiento actual del VIX.

El propósito general del trabajo es analizar los factores que influyen al VIX. El trabajo se enfocará especialmente en revelar si la tasa de interés básica tiene una influencia significativa en el VIX. El objetivo del trabajo se concreta en los siguientes objetivos específicos:

- Examinar los factores principales que pueden influir en el VIX
- Medir la respuesta del VIX a impulsos en los factores principales que pueden influir al VIX empleando una muestra que incluye datos actuales (30.09.2005 – 30.09.2017).

Este estudio contribuye a la literatura sobre el entendimiento general del VIX y su rendimiento examinando principalmente la influencia del *Federal Funds Rate* en el VIX, que aún no está investigado profundamente en la literatura académica. La finalidad es que los inversores en el índice de volatilidad puedan adaptar sus estrategias o posiciones a los nuevos conocimientos y reducir su riesgo.

Para la construcción del marco conceptual, primero se analiza la historia de la volatilidad desde un enfoque general. En un siguiente paso se describe el concepto del VIX y su comportamiento reciente. En el segundo capítulo, a través de una profunda revisión de la literatura, se examinan los posibles factores que influyen en el VIX.

En el tercer capítulo se lleva a cabo un modelo econométrico basándose en el análisis de los datos diarios del VIX desde el 30 de noviembre de 2005 hasta el 30 de noviembre de 2017 examinando los factores identificados en la literatura anterior sobre los cambios en el índice de volatilidad.

## 2. EL VIX

Este capítulo introduce al concepto de la volatilidad y busca profundizar en el entendimiento del VIX como índice de volatilidad. Esto da el contexto del trabajo para el posterior análisis de la influencia de los factores.

### 2.1 La historia de la volatilidad

El concepto de la volatilidad ha evolucionado de una idea académica a una herramienta de gestión de riesgos y ahora es algo que los inversores pueden negociar, al igual que una acción o un bono. A día de hoy la volatilidad tiene incluso índices propios, como por ejemplo el VSTOXX, el VDAX y el famoso VIX.

Para comprender por qué y cómo sucedió esta evolución, además de lo que podría significar, primero ha de retrocederse más de seis décadas atrás, a un tiempo en el cual los administradores de fondos en gran medida fueron juzgados por su desempeño. Eso cambió en 1954, cuando un joven graduado de economía de la Universidad de Chicago llamado Harry Markowitz publicó un innovador documento titulado "*Portfolio Selection*" que argumentaba que el rendimiento de un fondo debería juzgarse en comparación con la cantidad de riesgo que implica.

Como el "riesgo" puede ser un concepto vago, Markowitz usó la volatilidad como un proxy útil (originalmente él lo llamó "*variance*" (varianza)).

Desde un punto de vista general, los gerentes de inversiones y los economistas académicos siempre han sido conscientes de la necesidad de tener en cuenta tanto el rendimiento como el riesgo. La principal contribución de Markowitz consistió en desarrollar una teoría operacional rigurosamente formulada para la selección de carteras bajo incertidumbre, una teoría que se convirtió en la base de una mayor investigación en economía financiera (The Royal Swedish Academy of Science, 2018).

Markowitz demostró que, bajo ciertas condiciones, la elección de una cartera de un inversor puede reducirse a equilibrar dos dimensiones: el rendimiento esperado de la cartera y su varianza. Debido a la posibilidad de reducir el riesgo a través de

diversificación, el riesgo de la cartera, medido como su varianza, dependerá no solo de las varianzas individuales del rendimiento de los diferentes activos, sino también de las covarianzas entre todos los activos (The Royal Swedish Academy of Science, 2018).

En otras palabras, Markowitz desarrolló un modelo académico con el cual los inversionistas podían medir las concesiones que enfrentaban entre el riesgo y el rendimiento. Y en el proceso, se aseguró de que la volatilidad fuera el proxy reinante del riesgo (Wigglesworth, 2018).

Para medir la volatilidad de un activo, los inversores a menudo observan movimientos de precios en los últimos 30 días. Para el mercado bursátil estadounidense, este promedio es alrededor del 15 por ciento, y la volatilidad del mercado de bonos promedia un poco menor del cuatro por ciento (Wigglesworth, 2018).

Con el tiempo, toda la industria financiera comenzó a usar la volatilidad para medir el riesgo. A raíz de la crisis del lunes negro de 1987, el presidente de JPMorgan, Sir Dennis Weatherstone, ordenó que se creara un informe diario que mostrara de la forma más sencilla cuánto dinero podría perder el banco en sus posiciones comerciales en un día cualquiera. A día de hoy se conoce esta herramienta como "*Value at Risk*" (valor en riesgo) (Holton, 2002).

A medida que la volatilidad se convirtió en la forma dominante de medir el riesgo financiero, otros comenzaron a crear las bases para que los bancos e inversionistas finalmente intercambiaran volatilidad. En la práctica, comercializar cualquier derivado implica una apuesta implícita a la volatilidad (Wigglesworth, 2018). Por ejemplo, si un fabricante compra una opción de vender, está dispuesto a vender un activo en el futuro por un precio predeterminado y así se protege contra un declive de precios. Si uno adquiere una opción de compra está esperando que el precio del activo subyacente aumente. Un "*straddle*" es básicamente una apuesta en que hay alta turbulencia del mercado y un "*butterfly spread*" una apuesta en la tranquilidad de los activos.

El comercio de opciones, tanto para seguros como para especulaciones, debe su popularidad a tres académicos llamados Fisher Black, Robert Merton y Myron Scholes. En 1973, publicaron un modelo para calcular de manera eficiente el valor de estas opciones, que se basaba en parte en la volatilidad (Henderson, 2006). Esto se hizo

popularmente conocido como el “Modelo Black Scholes”, modelo que les brindó a Merton y Scholes el Premio Nobel de Economía en 1997.

Pero esto no fue suficiente para convertir realmente la volatilidad en un activo negociable como las acciones o los bonos en sí misma. Las opciones de compra y venta son sensibles a la volatilidad, pero no solo a la volatilidad, lo que hace que sea más difícil usarlas para apostar a las turbulencias del mercado (Wigglesworth, 2018).

En la década de 1980, dos académicos llamados Menachem Brenner y Dan Galai publicaron una serie de documentos que utilizaban los precios de estas opciones para crear un índice real de volatilidad bursátil, al que llamaron "Sigma". Lanzaron la idea a varios intercambios, pero en ese momento nadie quería convertir su modelo en un punto de referencia de volatilidad en vivo (Wigglesworth, 2018). En 1992, el *Chicago Board Options Exchange* contrató a Robert Whaley para convertir en realidad la idea de un índice de volatilidad basado en opciones y en 1993, nació el Índice de Volatilidad CBOE, popularmente llamado VIX (Wigglesworth, 2018).

Debido a que el VIX es sólo un número basado en cálculos de miles de derivados subyacentes y no un activo real, los inversores no podrían comprar o vender el VIX. En 2004, el CBOE lanzó futuros de VIX y dos años después introdujo opciones. En 2006, el volumen total de contratos de futuros de VIX negociados ascendía solamente a la cifra de 434,000, es decir, unos 1730 contratos por día. Pero cuando la crisis financiera mundial estalló, el VIX se convirtió en el índice más atractivo para hacer apuestas sobre incrementos en el riesgo de mercado. En 2008, se negociaron más de 1 millón de contratos de futuros de VIX, o 4,300 por día (Yahoo!, 2017).

Su creciente popularidad despertó el interés de los ingenieros financieros, quienes crearon el acceso al VIX mediante la construcción de productos cotizados en bolsa basados en el índice. En 2009, Barclays construyó el primer ETP (Exchange Traded Product (producto intercambiable en bolsa, por ejemplo, derivados)) vinculado al VIX utilizando futuros de volatilidad. A principios de 2017, había más de 40 ETP vinculados al VIX, con un volumen total diario de negociación de 2.6 billón de dólares (Wigglesworth, 2018).

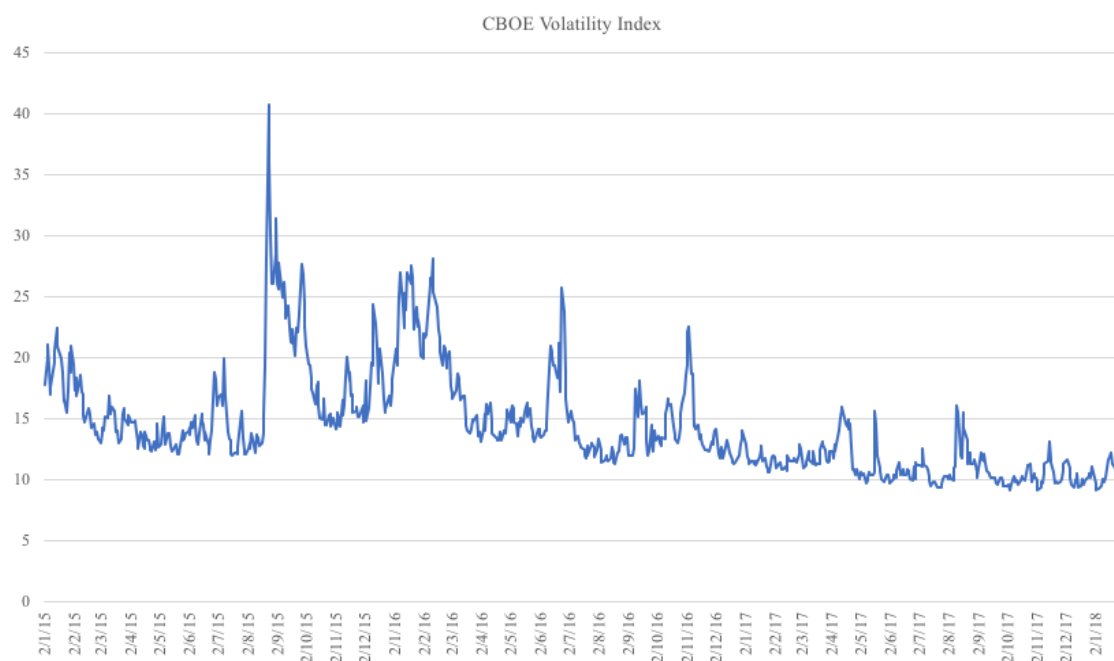
## 2.2 El VIX y su comportamiento actual

El VIX mide las turbulencias de una amplia gama de opciones del índice Standard & Poor's 500 (S&P 500, un índice bursátil que comprende las acciones de 500 de las compañías estadounidenses más grandes que cotizan en bolsa) y refleja las expectativas del mercado para un período de 30 días. Por ello, suele referirse al VIX como el “*fear gauge*” (medida de miedo) de los inversores (Krieger, Mauck, & Vazquez, 2015).

El valor se calcula mediante una fórmula matemática que analiza la diferencia entre los precios para opciones de compra y opciones de venta. Esencialmente replica las volatilidades implícitas de las opciones negociadas en el CBOE sobre el S&P 500. Si los inversores esperan que el S&P 500 fluctúe en un promedio del 1 por ciento cada día durante el próximo mes, el valor del VIX será aproximadamente 20, su promedio a largo plazo, mientras que un valor de 40 implica un 2 por ciento de movimientos (Wigglesworth, 2018).

Los inversores compran las opciones sobre el VIX en función de sus expectativas futuras. Es por ello que el índice mide la volatilidad esperada en el futuro y no la volatilidad real.

*Ilustración 1: CBOE Volatility Index 2/15-3/18*



*Fuente: Yahoo! Finance, 2018, extraído el 18 de marzo de 2018*

*La ilustración muestra el desarrollo del CBOE Volatility Index desde febrero 2015 hasta marzo 2018*

En diciembre 2016, cuando Trump fue elegido presidente de los EE.UU., empezaba una fase de baja volatilidad. El 27 de abril de 2017 el VIX disminuyó a un valor de 10,36, el más bajo en tres años, iniciando así una fase de volatilidad muy baja que el mercado nunca antes había experimentado. El 8 de mayo de 2017 alcanzó un valor de 9,77, el más bajo en diez años, seguido por un nuevo nivel mínimo de 9,19 el día 5 de octubre y de 9,14 el 3 del noviembre de 2017.

El próximo capítulo analiza los factores que pueden haber causado este contexto extraordinario. Este análisis forma el marco conceptual para la posterior implementación del modelo.

## 2.3 Factores que influyen al VIX

La literatura suministra diferentes factores de los cuales se espera que influyen al VIX. A continuación, se analizan estos factores con el objetivo de examinar aquellos que pueden explicar el nivel bajo del VIX a partir de mayo 2017 y determinar qué factores se incluye en el modelo.

### 2.3.1 Incertidumbre geopolítica

Dado que se suele referir al VIX como una medida de miedo de los inversores en los mercados, uno puede esperar que los factores geopolíticos influyan en sus resultados, pero en otoño de 2017, cuando el VIX estaba en mínimos históricos, el mercado estadounidense se enfrentaba a un periodo de considerable incertidumbre geopolítica y económica. Los EE.UU. fueron sujeto a la amenaza de un ataque de Corea del Norte y sufrieron alta incertidumbre causado por el proteccionismo comercial, los estímulos fiscales y el alto endeudamiento. La agenda legislativa fallaba tanto en referencia al tema de asistencia sanitaria como con respecto a la reforma de impuestos (Moyo, 2017). La situación se intensificó por la inestabilidad en Venezuela y sus efectos en los precios mundiales del petróleo y la perenne discordia política en Europa. Esa alta incertidumbre ha generado el desconcierto de un gran número de actores del mercado financiero, puesto que el índice cotizaba alrededor de los 10 puntos de porcentaje, contra un promedio histórico de aproximadamente 20 puntos (Coy & Soong, 2017). Como el VIX refleja las expectativas de volatilidad en el futuro de los inversores, la amplia incertidumbre en el escenario económico y político global sugiere que el VIX debía cotizar a niveles más altos (Moyo, 2017).

Por eso, el siguiente párrafo discute diferentes argumentos que pretenden explicar los bajos niveles del VIX, aunque el riesgo geopolítico fuese aparentemente alto.

Moyo (2017) sí sugiere que los factores geopolíticos influyen al VIX, pero que las condiciones económicas mundiales no son tan inciertas como uno las percibe a través de los medios de comunicación. Argumenta que, en particular, las previsiones del Producto Interior Bruto (PIB) de los Estados Unidos se mantienen firmes, indicando un crecimiento del 2,2% para 2017. China y Europa están creciendo modestamente y, en términos más



generales, el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial han corregido recientemente su estimación del PIB global al alza (Fondo Monetario Internacional, 2017). Los datos económicos subyacentes sobre la economía real son menos volátiles que las recuperaciones anteriores y esto se refleja en los mercados financieros (Moyo, 2017).

O'Neill (2017) destaca que el mundo sufre una mayor estabilidad que la percibida de forma generalizada. Hace referencia al promedio de 3,4 por ciento del crecimiento económico global de 2006 a 2016, un décimo más que en la década de los ochenta y noventa. Él sospecha que lo que es realmente nuevo, además de un gran desafío para muchos ámbitos de nuestra sociedad, es la constante presencia de los medios y las comunicaciones en nuestras vidas y, en particular, el papel de las redes sociales. Supone que la omnipresencia de noticias relacionadas con el riesgo resulta en una elevada percepción del riesgo en la sociedad que no refleja la realidad. Según O'Neill (2017) no existe más riesgo geopolítico, en comparación con décadas anteriores, y por eso no hay razón que explique que el VIX debía cotizar en niveles más altos (O'Neill, 2017).

Posen (2017) da un paso más y afirma que el impacto del riesgo geopolítico en sí mismo solo constituye un bajo o nulo impacto en los mercados financieros. Argumenta que, aunque no parezca lógico, el riesgo geopolítico tenga un pequeño impacto en los mercados financieros. Analizando diferentes acontecimientos que generen un cambio en el riesgo percibido, como por ejemplo el fin de la Guerra Fría en 1989, los ataques de 9 de noviembre en los Estados Unidos y diferentes amenazas terroristas, se llega a la conclusión de que históricamente incluso los estallidos reales de guerra o el terrorismo recurrente han causado muy pocas desviaciones en los patrones habituales que suele seguir el mercado a largo plazo. Los impactos, por ende, solían ser efímeros (Posen, 2017).

Un factor medible que refleja en parte el riesgo geopolítico es el precio del petróleo (Liu, Sun, Chen, & Li, 2016). Desde 2008, los rendimientos del petróleo y la renta variable se han desplazado de forma conjunta de forma más clara de lo que lo hacían anteriormente (Datta, Johannsen, Kwon, & Vigfusson, 2017).

Antonakakis et al. (2017) examinaron la relación estructural dinámica entre las variaciones del precio del petróleo y la volatilidad, extendiendo la medida de conectividad dinámica de Diebold y Yilmaz (2014) y usando un modelo de tipo vector auto-regresivo

(VAR). Los resultados de los retornos del mercado accionario y la volatilidad sugieren que la conectividad varía a lo largo de diferentes períodos de tiempo, y que este carácter variable en el tiempo está alineado con ciertos desarrollos que tienen lugar en la economía global. En particular, los shocks de demanda agregada parecen actuar como los principales transmisores de los shocks en los mercados bursátiles durante los períodos caracterizados por eventos económicos, mientras que los shocks de demanda específicos del petróleo actúan como los principales transmisores de los shocks en los mercados bursátiles durante los períodos de inestabilidad geopolítica (Antonakakis, Chatziantoniou, & Filis, 2017).

Por lo tanto, en el modelo se incluye el precio de petróleo como variable independiente para medir su fuerza a la hora de influir el VIX.

### 2.3.2 Tasa de interés

Desde 2008, tanto el mercado estadounidense como el mercado europeo han vivido un período extraordinario de generosidad monetaria y fiscal. Por lo tanto, para O'Neill (2017) parece muy probable que los precios de los activos del mercado financiero hayan sido influenciados por la política monetaria y, en particular, por los niveles de las tasas de interés a corto y largo plazo. Concluye que es probable que el nivel del VIX se vea indirectamente afectado por esto. Hasta el regreso a un período de mayores tasas de interés reales nominales y, tal vez especialmente mayores, sospecha que es poco probable que la volatilidad del mercado financiero vuelva a niveles más propios de contextos de incertidumbre, que pueden producirse.

El siguiente párrafo discute los argumentos de diferentes autores que suponen una fuerte relación entre el VIX y los cambios en la tasa de interés.

En primer lugar, se considera Bessent (2017), quién llega a la conclusión que la volatilidad financiera se congela cuando los bancos centrales ejercen presión sobre las tasas de interés básico por debajo de cero. Él supone que la volatilidad reacciona a los cambios en las tasas de interés reales con un retraso de uno o dos años. Cuando las tasas de interés reales son altas, también lo será la volatilidad del mercado financiero y cuando

se reducen las tasas de interés real, también se suprimirá la volatilidad financiera (Bessent, When real interest rates are lowered, financial volatility is suppressed, 2017).

Rajan (2006) sugirió que las bajas tasas de interés llevan a una toma de riesgo cíclica en los mercados financieros. Él resalta, como ejemplo, los incentivos de las compañías de seguros con compromisos de tasa fija. Cuando caen las tasas de interés, no tienen otra alternativa que buscar inversiones de mayor riesgo. Si compran inversiones de bajo rendimiento, aunque seguras, no generarán beneficios suficientes para cumplir con sus obligaciones. Si aceptan inversiones de mayor riesgo y mayor rentabilidad, al menos tienen alguna posibilidad de sobrevivir. Rajan hace un argumento similar para los fondos de inversión libre. Cuando las tasas son bajas, buscan inversiones con mayores rendimientos y se aprovechan del efecto “*leverage*” (apalancamiento). Con inversiones seguras es posible que no cumplan con su objetivo del uno por ciento y ganen honorarios de incentivo lucrativos. En otras palabras, las bajas tasas de interés incentivan a los participantes del mercado financiero a procurar un mayor rendimiento (Rajan, 2006).

Adrian y Shin (2008) llegan a conclusiones similares sobre el comportamiento cíclico de los participantes en el mercado. Muestran que la tasa de crecimiento de los balances de las instituciones financieras está directamente relacionada con el tipo de interés básico. Cuando la política monetaria es flexible, los balances crecen rápidamente y con esto también lo hace la liquidez en el mercado financiero. Por el contrario, cuando la política monetaria es ajustada, el crecimiento del balance se desacelera y la liquidez del mercado financiero disminuye. Finalmente, Adrian y Shin (2008) sugieren que existe un círculo en el cual, un aumento en los precios de los activos rentables de un banco, como, por ejemplo, un aumento de los precios de los créditos, conduce a un aumento del capital propio de las instituciones financieras, lo que permite un mayor crecimiento del balance y un mayor aumento en los precios de los activos rentables. Mejor dicho, las bajas tasas de interés estimulan un ciclo de retroalimentación reflexiva en el que un crecimiento más rápido del balance genera mayor liquidez del mercado financiero, elevando así los precios de los activos y reprimiendo la volatilidad medida, permitiendo un mayor crecimiento del balance (Adrian & Shin, 2008).

También Moyo (2017) y El-Erian (2017) concluyen que, para obtener ingresos en un entorno de tasa de interés en mínimos históricos, los operadores están comprando

instrumentos estructurados que ofrecen un atractivo ingreso general, pero cuya forma subyacente les deja una volatilidad corta, manteniendo así el VIX bajo.

Se puede concluir que existe una alta probabilidad de que la tasa de interés tenga influencia significativa en el VIX. Consecuentemente, se incluye la tasa de interés en el modelo como variable independiente. Medir la influencia de la tasa de interés en el VIX es el objetivo primordial de la investigación.

### 2.3.3 Política monetaria

Si se supone que la tasa de interés tiene influencia significativa en el VIX, se podría esperar que también la política monetaria tuviese influencia significativa en el VIX, dado que política monetaria fija el nivel de la tasa de interés. En 2015, Gospodinov y Jamali (2015) investigaron la respuesta dinámica de la volatilidad bursátil a cambios en la política monetaria. Usando un modelo VAR, sus resultados revelaron una respuesta significativa tanto de los retornos de las acciones como de la volatilidad a los shocks de la política monetaria (Gospodinov & Jamali, 2015).

La publicación de la información de la política monetaria de la Reserva Federal reviste gran importancia para los participantes del mercado financiero, ya que esta comunicación puede revelar cómo las autoridades de política monetaria perciben el estado actual y el curso futuro esperado de los Estados Unidos y de las economías mundiales. La información contenida en los anuncios y comunicados monetarios también puede ayudar a los agentes a comprender mejor los factores subyacentes que entran en el proceso de toma de decisiones del Banco Central y pueden permitir a los participantes del mercado financiero tomar posiciones que les permitan sacar provecho de dicha información. Solamente existen dos comunicados de prensa programados regularmente por la Reserva Federal de los Estado Unidos que se producen durante el horario normal de negociación de las acciones en el país.

El primero es una declaración resumida breve difundida al final de cada reunión del Comité Federal de Mercado Abierto (FOMC). El anuncio de esta decisión indica qué acción monetaria emprenderá el FOMC en una reunión en particular. El segundo es el documento que contiene los “*minutes*” de las reuniones del FOMC y se producen tres

semanas después de la reunión del FOMC asociada. Son mucho más detalladas que la declaración que acompaña a la decisión real del FOMC y constituyen una fuente potencialmente valiosa de información sobre el estado actual y la salud futura esperada de las economías nacionales y globales.

Jubinski and Tomljanovich (2017) verificaron que los mercados bursátiles parecen verse más afectados por los anuncios del FOMC que por los “*minutes*”. El impacto inmediato en la volatilidad es tres veces más grande en el caso de los anuncios del FOMC que en el caso de los “*minutes*” (Jubinski & Tomljanovich, 2017).

También Krieger, Mauck y Vazquez (2015) examinaron la respuesta del VIX al anuncio de decisiones políticas de tasa de interés por parte del FOMC y determinaron que la volatilidad del mercado tiende a disminuir cuando se hacen anuncios de política de tasas de interés en los EE. UU. Esto es el caso, independientemente de si el anuncio divulga información inesperada o no (Krieger, Mauck, & Vazquez, 2015).

Por lo tanto, se ha decidido incluir los anuncios del FOMC como variable independiente en el modelo para medir la influencia de la política monetaria en el VIX. Dado que no importa el grado de información nueva que revela el anuncio, se emplea una variable dicotómica que tiene el valor 1 si había una reunión del Comité Federal de Mercado Abierto un día y 0 si no había una reunión.

#### 2.3.4 El circuito de retroalimentación

Cole (2017) argumenta que existe un circuito de retroalimentación peligroso entre las tasas de interés ultra bajas, la expansión de la deuda, la volatilidad de los activos y la ingeniería financiera que asigna el riesgo en función de esa volatilidad, haciendo una analogía con la imagen de la “*pescadilla que se muerde la cola*”. Estimó que había más de dos billones de dólares invertidos en estrategias que ejercen influencia y están influenciadas por la volatilidad del mercado de valores y advirtió sobre las consecuencias en términos terribles.

La volatilidad hoy en día es un medio para la asunción de riesgos y una fuente de retornos excesivos en ausencia de valor. La volatilidad baja está alimentando a una volatilidad aún más baja, en un ciclo que se auto perpetúa, empujando la varianza al límite de cero. Esto

parece ser una fórmula mágica para convertir el éter en oro y la volatilidad en riqueza. Sin embargo, la alquimia financiera es engañosa. Los mismos factores que parecen estabilizarse pueden revertirse en caos. El peligro es que el comercio de volatilidad corta de varios trillones de dólares, en todas sus formas, contribuirá a un circuito de retroalimentación violenta de mayor volatilidad que dará como resultado un *crash*. Finalmente, el ciclo inicial de baja volatilidad ha desembocado en un salto a la alta volatilidad, sin teóricamente, existir un límite a su altura (Cole, 2017).

Esto fue aproximadamente, aunque menos apocalípticamente, lo que sucedió a principios de febrero de 2018. Un aumento súbito de la volatilidad provocó el colapso de varios ETPs de VIX inverso, lo que agudizó la turbulencia y desencadenó la venta automática por estrategias basadas en la volatilidad. Sin embargo, los mercados han retrocedido casi tan rápido como cayeron. Dos de los ETPs de VIX inverso han sido eliminados y otros están tomando medidas para limitar el daño que pueden hacer. Por lo tanto, la mayoría de los analistas dicen que dudan que el futuro de la volatilidad será tan destructivo como lo describe Cole (Wigglesworth, 2018).

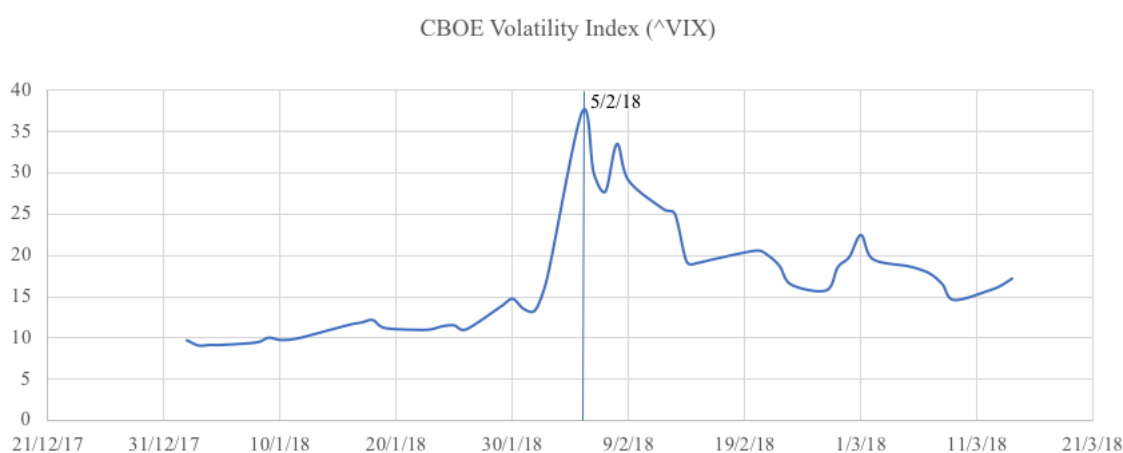
No obstante, los vínculos entre la volatilidad como activo comercializable y una herramienta de gestión del riesgo siguen vigentes, y es probable que sigan despertando inquietudes.

La idea del circuito de retroalimentación se toma en cuenta en el modelo incluyendo los valores pasados del VIX.

## 2.4 VIX-Mageddon

Para incluir también los recientes sucesos en referencia al VIX y subrayar otra vez su importancia e influencia en los mercados financieros, este párrafo se dedica a explicar las consecuencias del aumento súbito de la volatilidad en los inicios de febrero, especialmente en el 5 de febrero, al cual se le refiere también como “*VIX-mageddon*”.

*Ilustración 2: CBOE Volatility Index (^VIX) enero – marzo 2018*



*Fuente: Yahoo! Finance, 2018, extraído el 21 de marzo de 2018*

*La ilustración muestra el desarrollo del CBOE Volatility Index desde enero hasta marzo 2018*

En resumen, las turbulencias fueron causadas y agravadas por el colapso de varios productos cotizados en bolsa vinculados al VIX. Su implosión el 5 de febrero se aceleró por su propia actividad de “*hedging*” (cobertura de riesgo cambiario), por los operadores que se peleaban para aprovechar su predictibilidad y por la falta de liquidez en el mercado de derivados del VIX (Pfrang & Wigglesworth, 2018).

Los operadores estaban comprando los futuros de VIX al cierre ya que el mercado bursátil se movía a la baja y esperaban que el VIX subiera más. Esto podría ocurrir porque las necesidades de “*hedging*” basadas en las reglas de los ETPs eran bien conocidas entre los operadores sofisticados y porque el entorno de baja volatilidad a lo largo de 2017 les ayudó a crecer rápidamente, convirtiéndolas en grandes jugadores en el mercado de volatilidad (Pfrang & Wigglesworth, 2018).

Una de las razones por las cuales los operadores podrían esperar que el VIX fuera más alto era porque las reglas que rigen el rendimiento de los ETP, que fueron reveladas públicamente en sus prospectos, indicaban una alta demanda de compras cerca del cierre de la negociación ese día.

Para crear los rendimientos “inversos” del índice de futuros del VIX, se vinculan con los ETP, se venden los futuros del VIX y se ajustan sus posiciones cortas en referencia a los movimientos del mercado (Pfrang & Wigglesworth, 2018). Pero el índice de futuros de volatilidad al que hacen referencia casi se duplicó al cierre del fatídico lunes, que redujo el valor teórico de los fondos casi a cero y requirió que prácticamente todos los futuros se recomprasen. Las reglas vinculan el rendimiento de los ETP con el precio de liquidación de los futuros a las 4.15 de la tarde. De forma general, si se comercia más cerca del cierre se aumenta la certeza, pero el aumento de las transacciones en un corto período de tiempo puede aumentar el precio de liquidación, lo que perjudica aún más a los inversores de ETP, que es justamente lo que pasó a principios de febrero: los volúmenes de futuros del VIX incrementaron, especialmente para los contratos a corto plazo que vencían en ese marzo (Pfrang & Wigglesworth, 2018).

Con el fin de minimizar el riesgo de ejecución, los gerentes de ETPs distribuyen parte de su cobertura a otros operadores. Pero esto solo traslada el problema. En conjunto, los participantes en el mercado aún deben comprar la mayoría de los futuros cerca del precio de liquidación porque no hay suficientes operadores del otro lado que ocupen posiciones de compensación. El 5 de febrero la cantidad que tuvieron que comprar fue mucho mayor que en ocasiones anteriores, cuando los requisitos de reequilibrio eran mucho más pequeños. Finalmente, alguien tuvo que comprar el futuro y la liquidez simplemente no estaba allí (Pfrang & Wigglesworth, 2018).

Una herramienta que los gerentes de ETPs usan para equilibrar las demandas es un tipo de orden conocido como "*trade at settlement*" (TAS). Debe ingresarse minutos antes de la hora de cierre y entrega futuros al comprador con una pequeña prima o descuento al precio de liquidación. El fatídico lunes del 5 de febrero, unos 167,000 futuros de los meses de febrero y marzo se comercializaron en el mercado TAS, el doble del volumen de los días de los últimos 10 meses. Dada la brusquedad del pico en los últimos minutos, los vendedores de TAS que compraron los futuros ganaron mucho dinero (Pfrang & Wigglesworth, 2018).



Dos de los ETP de VIX inversos ahora ya no más existen y los analistas esperan que este rincón de los mercados se vuelva más tranquilo. Además, *ProShares*, un proveedor líder de fondos cotizados en bolsa, decidió reducir el apalancamiento de sus productos sobrevivientes, lo que ayudará a reducir su huella en el mercado. El vehículo VIX inverso del proveedor de ETP, SVXY, reducirá su exposición al reverso del índice de volatilidad a la mitad, mientras que el apalancamiento de su ETP largo VX de UVXY se reducirá del 200 al 150 por ciento. No obstante, algunos analistas y administradores de fondos siguen preocupados porque el mercado de derivados de volatilidad todavía tenga el potencial de causar trastornos, y argumentan que el ecosistema más amplio debería ser reevaluado a la luz de la agitación de febrero (Pfrang & Wigglesworth, 2018).

### 3. METODOLOGÍA

El trabajo se aborda a través de una metodología clásica. En primer lugar, se realiza la elección del tema y se decide qué variables serán necesarias y cuáles de estas puedan tener influencia en el resultado del estudio a través del apoyo en la literatura relacionada. A continuación, se exponen las dos hipótesis de estudio. En tercer lugar, se decide examinar el comportamiento del VIX desde el 30.09.2005 hasta el 30.09.2017. Para ello, se recolectan los datos de las series temporales empleando diferentes fuentes bursátiles.

#### 3.1 Investigación

Como examinado en el punto “2.3 Los factores que influyen en el VIX”, la presente investigación tiene como objetivo primordial determinar cómo reacciona el VIX a cambios en el tipo de interés básico. Se ha realizado un trabajo cuyo objetivo principal es la respuesta a tal pregunta, pero que también toma en cuenta otros factores mencionados en la literatura que puedan influir en el VIX y arrojar luz sobre su reciente comportamiento.

En primer lugar, se planteó la siguiente pregunta como eje central del trabajo: ¿Cómo reacciona el VIX a cambios en el tipo de interés básico?

En segundo lugar, se plantearon dos hipótesis de investigación:

1. **H<sub>1</sub>: El interés básico influye significativamente en el VIX.**

H<sub>0</sub>: El interés básico no influye significativamente en el VIX.

La hipótesis 1 es la hipótesis central del trabajo, que da respuesta a la pregunta de investigación. Se espera que una baja en el tipo de interés básico provoque una baja en el VIX.

2. **H<sub>2</sub>: Una reunión del Federal Open Market Committee tiene una influencia significativa en el VIX.**

H<sub>0</sub>: Una reunión del Federal Open Market Committee no tiene una influencia significativa en el VIX.

Esta hipótesis parte principalmente de los estudios de Krieger et al. (2015), Bekaert et al. (2013) y Jubinski et al. (2017) que todos estudiaron la respuesta del VIX a

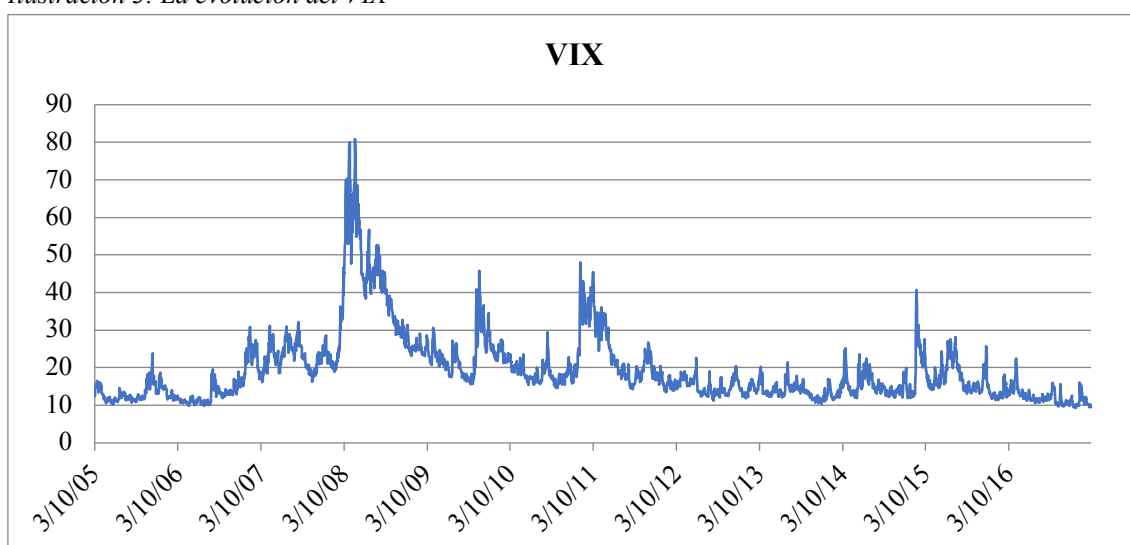
anuncios de política monetaria. Esta hipótesis, si se verifica, respaldará también la suposición que cambios en el interés básico influyen en el cambio del VIX, porque el Federal Open Market Committee fija el nivel del interés básico. Se espera que en los días en los cuales se produzca una reunión del Federal Open Market Committee, el VIX bajará, es decir, se espera que estas reuniones tengan un efecto tranquilizador en los mercados financieros y rebajen los niveles de incertidumbre.

## 3.2 Variables

El modelo de la investigación se basa en cuatro series temporales y una variable dicotómica. A continuación, se presentan los datos de las series temporales de forma gráfica, tanto de la cotización diaria como de los cambios diarios ( $\Delta$ =delta), dado que los cambios (deltas) son los valores que luego se incluyen en el modelo. La variable dependiente es el cambio en el VIX. Las variables independientes son:

1. la serie temporal del cambio de VIX ( $\Delta$ VIX) del 30.09.2005 hasta el 30.09.2017

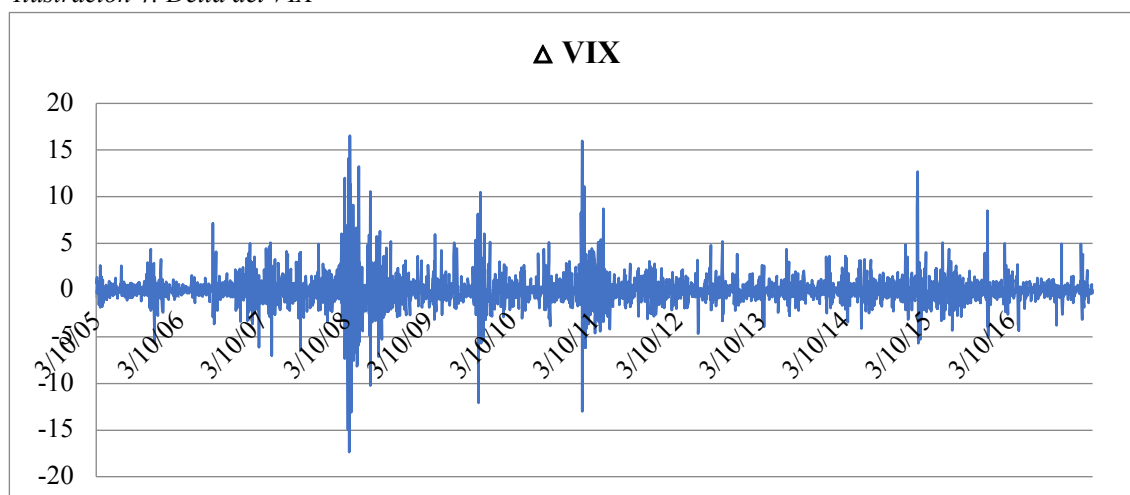
Ilustración 3: La evolución del VIX



Fuente: Yahoo! Finance, 2018, extraído el 18 de marzo de 2018

La ilustración muestra el desarrollo del CBOE Volatility Index del 30.09.2005 hasta el 30.09.2017

Ilustración 4: Delta del VIX



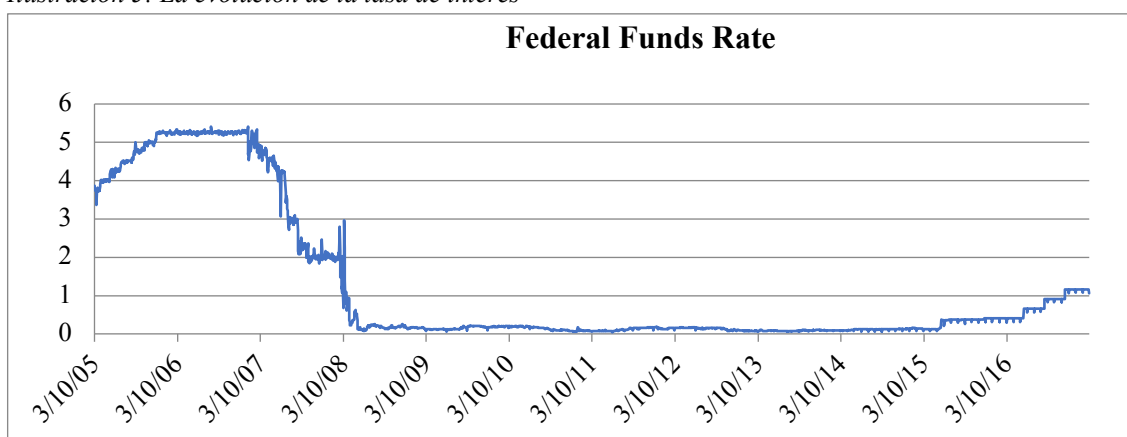
Fuente: Yahoo! Finance, 2018, extraído el 18 de marzo de 2018

La ilustración muestra el desarrollo de la primera derivación del CBOE Volatility Index del 30.09.2005 hasta el 30.09.2017

Se recoge la cotización del índice de volatilidad del *Chicago Board Options Exchange* empleando la fuente *Yahoo! Finance* donde se encuentra bajo la abreviatura  $^{\wedge}$ VIX. En el modelo se incluyen los valores de VIX, no solo como variable dependiente, sino también sus retardos como variables independientes para medir el efecto del circuito de retroalimentación introducido por Cole (2017) en el capítulo 2.3.

2. La serie temporal de la tasa de interés, representado por el Federal Funds Rate ( $\Delta$ FFR) del 30.09.2005 hasta el 30.09.2017

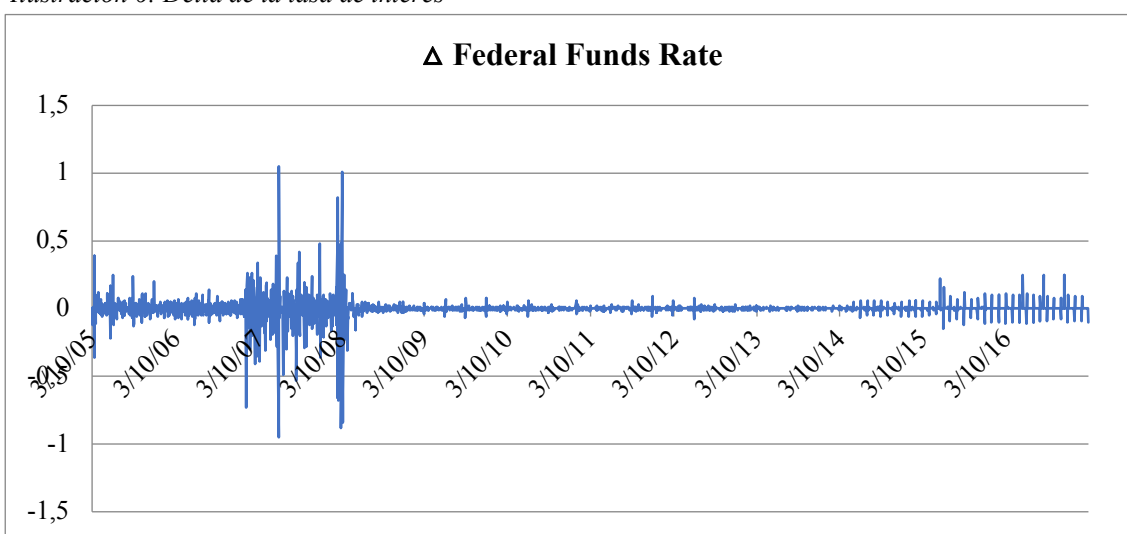
*Ilustración 5: La evolución de la tasa de interés*



*Fuente: Yahoo! Finance, 2018, extraído el 18 de marzo de 2018*

*La ilustración muestra el desarrollo de Federal Funds Rate del 30.09.2005 hasta el 30.09.2017*

*Ilustración 6: Delta de la tasa de interés*



*Fuente: Yahoo! Finance, 2018, extraído el 18 de marzo de 2018*

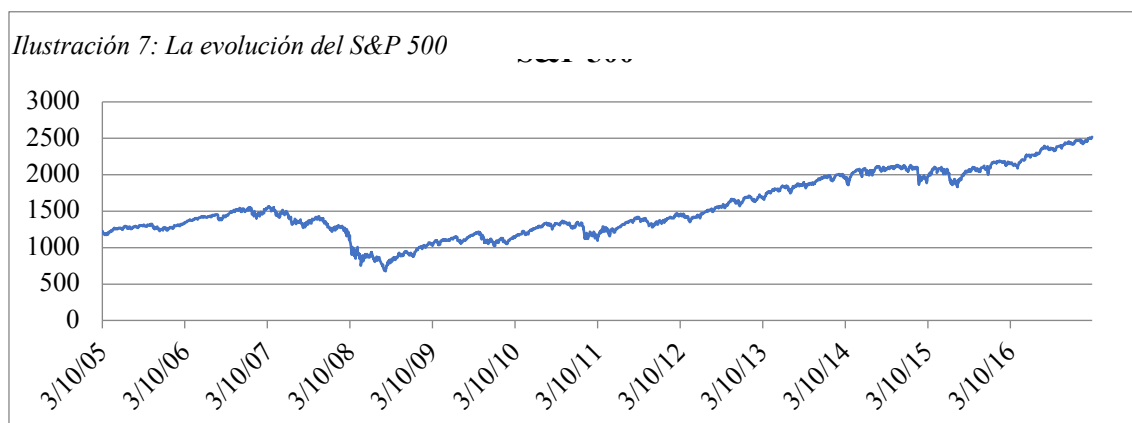
*La ilustración muestra el desarrollo de la primera derivación del Federal Funds Rate del 30.09.2005 hasta el 30.09.2017*

La *Federal Funds Rate* (tasa de fondos federales) es la tasa a la que instituciones depositarias, como por ejemplo bancos y cajas de ahorro, prestan dinero a otros bancos con el objetivo de cumplir con los requisitos de reserva, impuestos por la Reserva Federal. Se ha elegido el *Federal Funds Rate* porque es una de las tasas de interés más importantes en la economía de los Estados Unidos dado que influye en las condiciones financieras y monetarias, que a su vez influyen en los aspectos importantes de la economía, el empleo, el crecimiento y la inflación (Federal Reserve, 2018). Asimismo, la *Federal Funds Rate* influye en las tasas de interés a corto plazo y, por tanto, indirectamente en casi todo, desde préstamos hipotecarios y préstamos para automóviles hasta tarjetas de crédito. La elección de la *Federal Funds Rate* se basa también en los estudios de Bekaert et al. (2013) que descubrieron una alta correlación positiva entre la *Federal Funds Rate* y los niveles futuros del VIX.

La *Federal Funds Rate* se calcula como una mediana ponderada por volumen de las transacciones de fondos federales entre días sucesivos reportadas en el Informe FR 2420 llamado “*Selected Money Market Rates*”. La Fed de Nueva York publica el *Federal Funds Rate* para el día laboral anterior en su sitio web aproximadamente a las nueve de la mañana, fuente de la cual se han extraído los datos visibles en los gráficos y usados en el modelo. El *Federal Open Market Committee* (FOMC) establece la tasa objetivo para la negociación en el mercado de fondos federales.

Consecuentemente, la influencia del Federal Funds Rate en el VIX es de alto interés para las instituciones gubernamentales. Medir esta influencia es el objetivo primordial de la investigación.

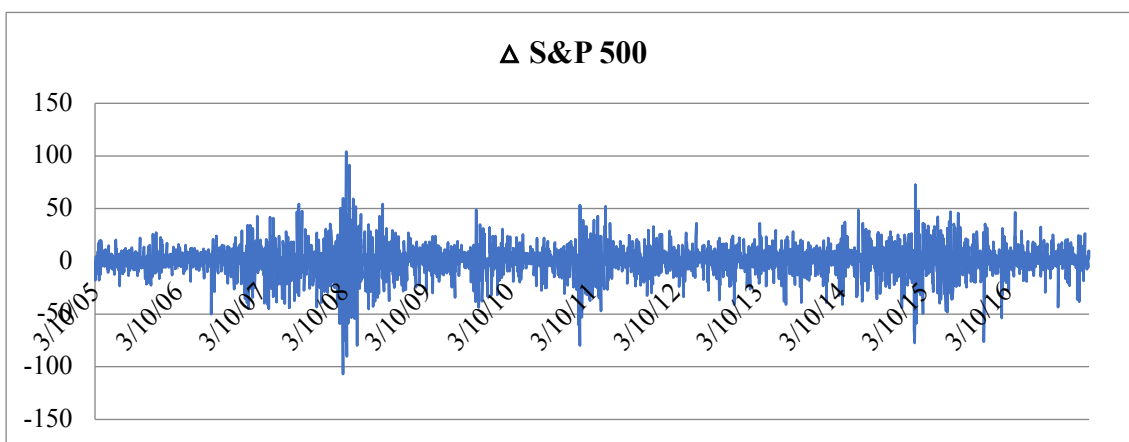
### 3. La serie temporal del S&P 500 ( $\Delta SP5$ ) del 30.09.2005 hasta el 30.09.2017



Fuente: Yahoo! Finance, 2018, extraído el 18 de marzo de 2018

La ilustración muestra el desarrollo del índice S&P 500 del 30.09.2005 hasta el 30.09.2017

Ilustración 8: Delta del S&P 500



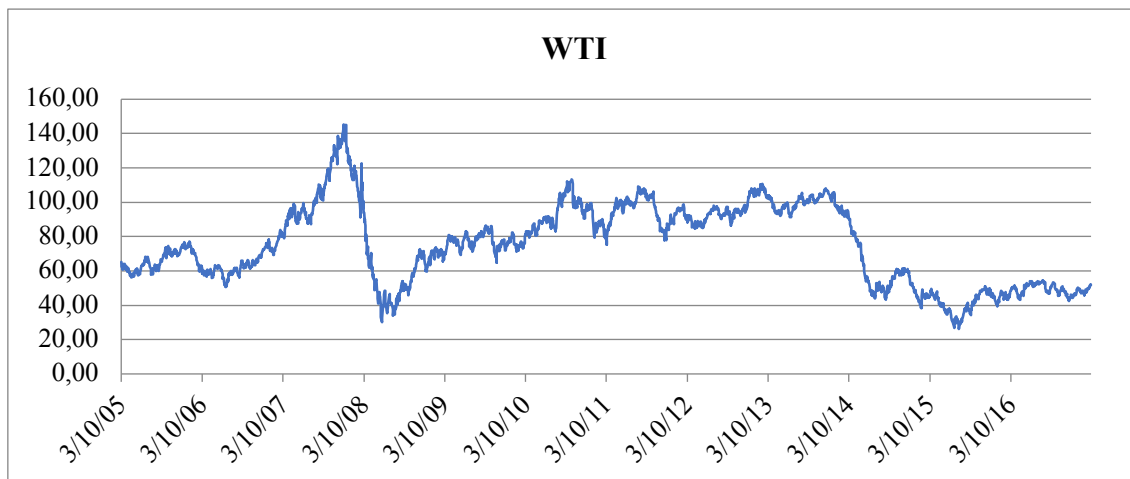
Fuente: Yahoo! Finance, 2018, extraído el 18 de marzo de 2018

La ilustración muestra el desarrollo de la primera derivación del índice S&P 500 del 30.09.2005 hasta el 30.09.2017

El S&P 500 (Standard & Poor's 500) es un índice bursátil que comprende las acciones de 500 de las compañías estadounidenses más grandes que cotizan en bolsa. El S&P 500 está ponderado por la capitalización bursátil y es uno de los índices bursátiles más respetados del mundo. El clásico S&P 500, que se ha usado en el modelo, es un índice de precios. Se incluye la serie temporal del S&P 500 ( $\Delta SP5$ ) para medir la influencia del mercado en el VIX. Se recolecta la cotización del Standard & Poor's 500 empleando la fuente *Yahoo! Finance* dónde se encuentralo bajo la abreviatura  $\wedge GSPC$ .

4. La serie temporal del West Texas Intermediate ( $\Delta$ WTI) del 30.09.2005 hasta el 30.09.2017.

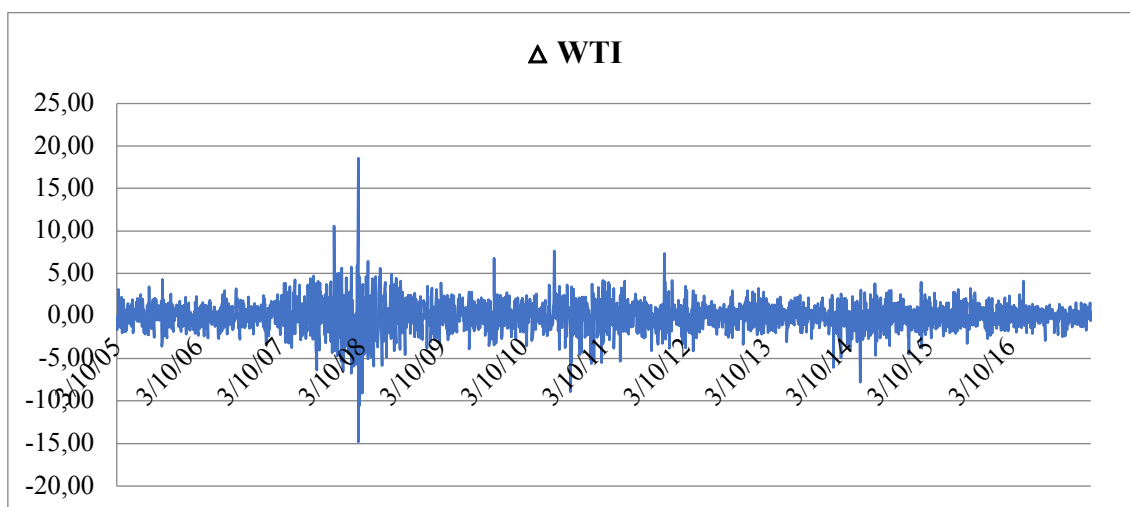
*Ilustración 9: La evolución del West Texas Intermediate*



*Fuente: FRED Economic Data, 2018, extraído el 18 de marzo de 2018*

*La ilustración muestra el desarrollo del West Texas Intermediate del 30.09.2005 hasta el 30.09.2017*

*Ilustración 10: Delta del West Teas Intermediate*



*Fuente: FRED Economic Data, 2018, extraído el 18 de marzo de 2018*

*La ilustración muestra el desarrollo de la primera derivación del West Texas Intermediate del 30.09.2005 hasta el 30.09.2017*

West Texas Intermediate, abreviado como WTI, es un tipo de petróleo crudo ligero, bajo en azufre, de los Estados Unidos. El precio por barril de WTI se considera un indicador importante de la demanda y el suministro de petróleo crudo en el mercado mundial y como punto de referencia para el precio de otros petróleos subsidiados por los EE.UU. Se incluye esta variable para medir la influencia del precio de petróleo y porque está altamente influido por factores geopolíticos (Liu, Sun, Chen, & Li, 2016). Se recolecta la cotización del WTI empleando la base de datos del Federal Reserve Bank of St. Louis.



Por último, se introduce una variable que debe medir la influencia de anuncios de política monetaria en referencia a la tasa de interés. Para este propósito se incluye una variable dicotómica, que se nombra REU, que tiene el valor 1 si había una reunión del Federal Open Market Committee (FOMC) este día y 0 si no había una reunión. Como ya sido descrito en segundo capítulo, el FOMC difunde una declaración resumida al final de cada reunión que indica qué acción monetaria emprenderá el FOMC en una reunión en particular. Dado que Krieger et al. (2015) ya descubrieron que la volatilidad del mercado tiende a disminuir cuando se hacen anuncios de política de tasas de interés en los EE. UU, independientemente de si el anuncio divulga información inesperada o no, la variable REU no refleja el contenido del anuncio, sino solo si había habido una reunión del FOMC, o más concretamente, si existía un anuncio o no.

Todas las series temporales incluyen las observaciones desde el 30.09.2005 hasta el 30.09.2017 lo cual supone un periodo observado de 12 años. Dado que se están empleando series temporales y no un corte transversal, el método de los Mínimos Cuadrados Ordinarios no será el óptimo para estimar los parámetros. Observando las características de las series temporales y empleando varias pruebas de estacionariedad y cointegración, que serán explicadas con más detalle en los capítulos siguientes, se ha planteado el siguiente modelo de tipo vector auto-regresivo (VAR):

$\Delta VIX =$	$\beta_1 \Delta VIX_{t-1} + \beta_2 \Delta FFR_{t-1} + \beta_3 \Delta SP5_{t-1} + \beta_4 \Delta WTI_{t-1} + \beta_5 REU$
$\Delta FFR =$	$\beta_1 \Delta FFR_{t-1} + \beta_2 \Delta VIX_{t-1} + \beta_3 \Delta SP5_{t-1} + \beta_4 \Delta WTI_{t-1} + \beta_5 REU$
$\Delta SP5 =$	$\beta_1 \Delta SP5_{t-1} + \beta_2 \Delta FFR_{t-1} + \beta_3 \Delta VIX_{t-1} + \beta_4 \Delta WTI_{t-1} + \beta_5 REU$
$\Delta WTI =$	$\beta_1 \Delta WTI_{t-1} + \beta_2 \Delta FFR_{t-1} + \beta_3 \Delta VIX_{t-1} + \beta_4 \Delta SP5_{t-1} + \beta_5 REU$

### 3.3 Análisis de las series temporales

Con el objetivo de la identificación del modelo adecuado del análisis para las series temporales han de analizarse primeramente las características de las series temporales en referencia a su estacionariedad, su grado de integración y la existencia de cointegración entre ellas.

#### 3.3.1 Estacionariedad

Una serie temporal es estacionaria si su media y varianza es constante en el tiempo y si la covarianza entre dos valores de una serie solo depende del tiempo entre ellos y no del tiempo observado en este punto. El resultado de una regresión en la cual se emplea dos series temporales que no son estacionarias e incluyen una constante o tendencia, siempre indica que una serie temporal influye altamente en la otra. Dichos resultados suelen mostrar un valor alto de  $R^2$ . Sin embargo, en la práctica, puede ser que estas series no tengan nada en común y no se influyan mutuamente. De forma más exacta, el resultado de la regresión sería falso y se debería a las dos constantes de cada serie temporal. Por tanto, es de gran importancia analizar las series temporales en referencia a su estacionariedad para poder elegir el modelo adecuado.

Existen varias pruebas para determinar si una serie es estacionaria o no estacionaria. La más popular, y que es empleada en la presente investigación, es el test de Dickey-Fuller. En particular, se lleva a cabo un contraste aumentado de Dickey-Fuller para asegurar que los errores no son correlacionados.

La hipótesis nula del test es que la serie temporal no es estacionaria. Se tiene que distinguir entre series temporales sin constante, con constante y con constante y tendencia para saber cuáles son los valores críticos del test de Dickey-Fuller. Según los valores críticos, que se pueden observarse en la siguiente tabla, se puede rechazar o aceptar la hipótesis nula.

*Tabla 1: Los valores críticos del Dickey-Fuller test de la estacionariedad*

Tipo	1%	5%	10%
Sin constante	-2,56	-1,94	-1,63
Con constante	-3,43	-2,86	-2,57
Con constante y tendencia	-3,96	-3,41	-3,13

*Fuente: Davidson y Mac Kinnon (1993)*

*La tabla muestra los valores críticos del Dickey-Fuller test de la estacionariedad distinguiendo entre series temporales sin constante, con constante y con constante y tendencia.*

Una serie temporal no tiene una constante cuando su media es cero. Este no es el caso en ninguna de las series temporales que son examinadas en esta investigación. A continuación, se comparan los valores del test de Dickey-Fuller para las series temporales con los valores críticos. Los resultados de este contraste se pueden observar en la siguiente tabla:

*Tabla 2: Los valores calculados del Dickey-Fuller test de la estacionariedad*

Serie temporal	Nº de retardos <sup>1</sup>	Tipo	Valor de tau
FED Rate	4	constante	-1,3649
FED Rate	4	constante y tendencia	-0,0781
S&P 500	4	constante	0,3060
S&P 500	4	constante y tendencia	-1,3853
WTI	4	constante	-1,8678
WTI	4	constante y tendencia	-2,0877
VIX	4	constante	-3,7269
VIX	4	constante y tendencia	-3,9800

*Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl*

*La tabla muestra los valores calculados del Dickey-Fuller test de la estacionariedad. Los valores críticos para rechazar la hipótesis nula son -1,63 sin constante, -2,57 con constante y -3,13 con constante y tendencia.*

Independientemente de que se define las series temporales con constante o constante y tendencia, los valores de tau de las series temporales FED Rate (FFR), S&P 500 (SP5) y West Texas Intermediate (WTI) son más altos que los valores críticos de -2,57 y -3,13

<sup>1</sup> Se emplea cuatro retardos porque el modelo VAR final tiene cuatro retardos

respectivamente. Por lo tanto, no se puede rechazar la hipótesis nula. Esto resulta en que las series temporales FED Rate (FFR), S&P 500 (SP5) y West Texas Intermediate (WTI) no son estacionarias. Estos resultados son coherentes con Hill et al. (2011).

En el caso del VIX, ambos valores son más pequeños que los valores críticos, por lo que se tiene que rechazar la hipótesis nula. Esto lleva a la interpretación que el VIX es estacionario. Avellaneda et al. (2017) descubrieron que el test de Dickey-Fuller siempre tiene como resultado estacionariedad cuando la serie temporal del VIX incluye los datos de 2008, como es el caso en la presente muestra. No obstante, este resultado cambia significativamente cuando se emplea una parte de la serie temporal del VIX que no incluye datos de 2008, lo que hace el resultado del test menos válido (Avellaneda & Papanicolaou, 2017). Desde un punto de vista teórico la volatilidad revierte a la media lo que ha causado alta controversia con respecto a la estacionariedad del VIX. Entre la literatura revisada se encuentra tanto argumentos para la estacionariedad del VIX como en contra. En el presente modelo se ha decidido tratar el VIX como una serie temporal no estacionaria basándose principalmente en los trabajos de Chow et al. (2014), Han et al. (2012) y Mikosch et al. (2004) para no arriesgar a introducir una serie temporal en el modelo que cambiase su estacionariedad según se modifica la muestra. Más adelante en la investigación se dividirá la muestra en tres secciones diferentes y no todos incluirán los datos de 2008, por lo que es imprescindible tratar el VIX como una serie temporal no estacionario en este punto de la investigación.

### 3.3.2 Grado de integración

El grado de integración dice cuántas veces tiene que derivarse la serie temporal hasta que sea estacionaria. Para encontrar el grado de integración, primero se ha empleado el contraste aumentado de Dickey-Fuller a las primeras diferencias de cada serie temporal (VIX, FFR, SP5 y WTI). Los valores críticos son los mismos que en la tabla 1. Los resultados para las primeras diferencias se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 3: Los valores calculados del Dickey-Fuller test para las primeras diferencias

Serie temporal	N° de retardos <sup>2</sup>	Tipo	Valor de tau
FED Rate	4	constante	-41,1114
FED Rate	4	constante y tendencia	-41,172
S&P 500	4	constante	-59,4886
S&P 500	4	constante y tendencia	-59,5144
WTI	4	constante	-57,5307
WTI	4	constante y tendencia	-57,53
VIX	4	constante	-33,3663
VIX	4	constante y tendencia	-33,3634

Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl

La tabla muestra los valores calculados del Dickey-Fuller test para las primeras diferencias. Los valores críticos para rechazar la hipótesis nula son -1,63 sin constante, -2,57 con constante y -3,13 con constante y tendencia.

Independientemente de que se definan las series temporales con constante o constante y tendencia, los valores de tau de todas las primeras diferencias de las series temporales son más bajos que los valores críticos de -2,57 y -3,13 respectivamente. Por lo tanto, se puede rechazar la hipótesis nula. Esto resulta en que las primeras diferencias de las series temporales son estacionarias y consecuentemente, el grado de integración de las series temporales es 1.

### 3.3.3 Elección del modelo adecuado

A causa de la falta de estacionariedad en la mayoría de las series temporales se hace evidente que no es posible emplear las series temporales tales aparecen en un modelo de regresión simple de mínimos cuadrados ordinarios porque eso podría ocasionar resultados espurios.

A partir de estos resultados, se tiene que decidir si un modelo de vectores de corrección del error (VEC) o un modelo de vectores autoregresivos (VAR) es lo adecuado. Para un modelo VEC es necesario que las series temporales sean cointegradas. La cointegración aparece cuando las series temporales tienen una tendencia estocástica similar y por eso las perturbaciones de la combinación lineal de las series temporales son estacionarias. No

<sup>2</sup> Se emplea cuatro retardos porque el modelo VAR final tiene cuatro retardos

se pueden analizar las perturbaciones de las series temporales porque son desconocidas, pero se puede analizar la estacionariedad de los residuos. Es decir, la prueba de cointegración es efectivamente una prueba de la estacionariedad de los residuos. Si los residuos son estacionarios, significa que las series temporales son cointegradas; si los residuos no son estacionarios, las series temporales no están cointegradas y cualquier relación de regresión aparente entre ellos es espuria.

Un requisito imprescindible para cointegración es que ninguna de las series temporales sea estacionaria, lo que no es el caso en la investigación presente, debido a la estacionariedad mostrada por el VIX en el contraste aumentado de Dickey-Fuller (véase tabla 2). Consecuentemente, no se procede a hacer el análisis de cointegración.

Se concluye, que las cuatro series temporales no están cointegradas. Este resultado es consistente con la literatura, ya que desde un punto teórico sería muy complicado establecer que pueda haber cointegración entre distintas clases de acciones.

Por lo tanto, el modelo adecuado para las características dadas de las series temporales es un modelo de auto-regresión vectorial (VAR) que analiza la interrelación dinámica entre variables, en este caso las series temporales, que son non-estacionaria y tienen un grado de integración de 1. Además, hay que usar las diferencias primeras de cada serie temporal para que sean transferidas en series temporales estacionarias.

En el próximo paso, es necesario definir el número de retardos necesarios que tienen un impacto significativo en la interrelación dinámica porque los valores antiguos influyen en el valor actual de las series temporales. El número de retardos necesarios es definido como el orden del VAR.

La estimación del orden del VAR puede ser realizado en base de tres criterios diferentes. El primer criterio es el criterio de Akaike (AIC), el segundo es el criterio bayesiano de Schwarz (BIC) y el último es de Hannan-Quinn (HQC).

*Tabla 4: Examinación del orden del VAR*

Retardos	P (RV)	AIC	BIC	HQC
1	0,0000	12,6621	12,7101	12,6794
2	0,0000	12,6191	12,6990	12,6478
3	0,0000	12,5484	12,6603	12,5886

4	0,0000	12,5154	12,6593 *	12,5671 *
5	0,0000	12,5083	12,6841	12,5715
6	0,0277	12,5095	12,7173	12,5842
7	0,0000	12,4849	12,7247	12,5712
8	0,0000	12,4719	12,7436	12,5696
9	0,0000	12,4636	12,7673	12,5729
10	0,0000	12,4474	12,7831	12,5681
11	0,0001	12,4422	12,8098	12,5744
12	0,0000	12,4299 *	12,8296	12,5736

Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl

La tabla muestra los valores calculados para la examinación del orden del VAR. El valor más pequeño dentro de una columna indica el orden adecuado del VAR. El programa añade una estrella al valor más pequeño.

Como se puede ver en la tabla, el orden del VAR adecuado para las series temporales observadas es 12 según AIC y 4 según BIC y HQC. Si se limita los posibles retardos a 11 también el orden VAR adecuado también es 4 según AIC. Por eso, se elige un modelo VAR del orden 4. Esta elección lleva a la siguiente matriz de ecuaciones:

**Matriz del modelo VAR del orden 4 con la variable dicotómica reunión del FOMC:**

$\Delta VIX =$	$\beta_1 \Delta VIX_{t-1} + \beta_2 \Delta VIX_{t-2} + \beta_3 \Delta VIX_{t-3} + \beta_4 \Delta VIX_{t-4} + \beta_5 \Delta FFR_{t-1} + \beta_6 \Delta FFR_{t-2} + \beta_7 \Delta FFR_{t-3} + \beta_8 \Delta FFR_{t-4} + \beta_9 \Delta SP5_{t-1} + \beta_{10} \Delta SP5_{t-2} + \beta_{11} \Delta SP5_{t-3} + \beta_{12} \Delta SP5_{t-4} + \beta_{13} \Delta WTI_{t-1} + \beta_{14} \Delta WTI_{t-2} + \beta_{15} \Delta WTI_{t-3} + \beta_{16} \Delta WTI_{t-4} + \beta_{17} REU$
$\Delta FFR =$	$\beta_1 \Delta FFR_{t-1} + \beta_2 \Delta FFR_{t-2} + \beta_3 \Delta FFR_{t-3} + \beta_4 \Delta FFR_{t-4} + \beta_5 \Delta VIX_{t-1} + \beta_6 \Delta VIX_{t-2} + \beta_7 \Delta VIX_{t-3} + \beta_8 \Delta VIX_{t-4} + \beta_9 \Delta SP5_{t-1} + \beta_{10} \Delta SP5_{t-2} + \beta_{11} \Delta SP5_{t-3} + \beta_{12} \Delta SP5_{t-4} + \beta_{13} \Delta WTI_{t-1} + \beta_{14} \Delta WTI_{t-2} + \beta_{15} \Delta WTI_{t-3} + \beta_{16} \Delta WTI_{t-4} + \beta_{17} REU$
$\Delta SP5 =$	$\beta_1 \Delta SP5_{t-1} + \beta_2 \Delta SP5_{t-2} + \beta_3 \Delta SP5_{t-3} + \beta_4 \Delta SP5_{t-4} + \beta_5 \Delta VIX_{t-1} + \beta_6 \Delta VIX_{t-2} + \beta_7 \Delta VIX_{t-3} + \beta_8 \Delta VIX_{t-4} + \beta_9 \Delta FFR_{t-1} + \beta_{10} \Delta FFR_{t-2} + \beta_{11} \Delta FFR_{t-3} + \beta_{12} \Delta FFR_{t-4} + \beta_{13} \Delta WTI_{t-1} + \beta_{14} \Delta WTI_{t-2} + \beta_{15} \Delta WTI_{t-3} + \beta_{16} \Delta WTI_{t-4} + \beta_{17} REU$
$\Delta WTI =$	$\beta_1 \Delta WTI_{t-1} + \beta_2 \Delta WTI_{t-2} + \beta_3 \Delta WTI_{t-3} + \beta_4 \Delta WTI_{t-4} + \beta_5 \Delta VIX_{t-1} + \beta_6 \Delta VIX_{t-2} + \beta_7 \Delta VIX_{t-3} + \beta_8 \Delta VIX_{t-4} + \beta_9 \Delta FFR_{t-1} + \beta_{10} \Delta FFR_{t-2} + \beta_{11} \Delta FFR_{t-3} + \beta_{12} \Delta FFR_{t-4} + \beta_{13} \Delta SP5_{t-1} + \beta_{14} \Delta SP5_{t-2} + \beta_{15} \Delta SP5_{t-3} + \beta_{16} \Delta SP5_{t-4} + \beta_{17} REU$

## 4. RESULTADOS

En este capítulo se analizan primero los resultados generales del modelo VAR y después la respuesta del VIX a impulsos en las variables independientes. El modelo fue realizado con el software Gretl. El establecimiento del modelo VAR toma como referencia principalmente el libro “*Principles of econometrics*” de Hill et al. (2011).

### 4.1 Análisis de los resultados del modelo VAR

Según los resultados del modelo, presentados en las tablas 6 a 8, el VIX está influido significativamente por sus propios retardos y los retardos del *Federal Funds Rate*. En particular, el conjunto de los cuatros retardos del  $\Delta$ VIX es significativo al 5% y el conjunto de los retardos del  $\Delta$ FFR son significativos al 10% (véase tabla 8). Consecuentemente, ambas series temporales pueden explicar la variabilidad del  $\Delta$ VIX. Además, el modelo muestra que la variable dicotómica “REU” que refleja si había una reunión del Federal Open Market Committee es significativa al 1% (véase tabla 6). Por lo tanto, se puede concluir, que una reunión del FOMC influye en el VIX. Los retardos del  $\Delta$ SP5 y los retardos del  $\Delta$ WTI no son significativos al 10% y por eso no hay evidencia de que expliquen una parte de la variabilidad del  $\Delta$ VIX.

Tabla 5: Resultado del modelo VAR del orden 4 (primera parte)

$\Delta$ VIX					
	Coefficiente	Desv. típica	Estadístico t	Valor p	
Constante	0,0313	0,0350	0,893	0,3717	
$\Delta$ VIX -1	-0,1676	0,0726	-2,309	0,0210	**
$\Delta$ VIX -2	-0,1295	0,0934	-1,387	0,1656	
$\Delta$ VIX -3	-0,0793	0,064	-1,240	0,2149	
$\Delta$ VIX -4	-0,1553	0,0757	-2,052	0,0403	**
$\Delta$ FFR -1	-0,2754	0,8205	-0,336	0,7371	
$\Delta$ FFR -2	2,0343	0,914	+2,226	0,0261	**
$\Delta$ FFR -3	0,4739	1,1491	+0,413	0,6800	
$\Delta$ FFR -4	-0,8542	1,0363	-0,824	0,4098	



$\Delta SP5$ -1	-0,0043	0,0064	-0,676	0,4988	
$\Delta SP5$ -2	-0,0033	0,0079	-0,420	0,6744	
$\Delta SP5$ -3	-0,0002	0,0054	-0,045	0,9639	
$\Delta SP5$ -4	0,0078	0,0070	-1,114	0,2655	
$\Delta WTI$ -1	0,0387	0,0297	+1,304	0,1924	
$\Delta WTI$ -2	-0,0147	0,0262	-0,564	0,5721	
$\Delta WTI$ -3	-0,0435	0,0285	-1,525	0,1274	
$\Delta WTI$ -4	-0,0332	0,0340	-0,974	0,3300	
REU	-0,4616	0,145	-3,184	0,0015	*** <sup>3</sup>

Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl

La tabla muestra los resultados del modelo VAR del orden 4.

Tabla 6: Resultado del modelo VAR del orden 4 (segunda parte)

Media de la vble. dep.	-0,0017	D.T. de vble. dep.	1,8356
Suma de cuad. residuos	9613,071	D.T. de la regresión	1,791
R-cuadrado	0,0534	R-cuadrado corregido	0,0481
F (17, 2997)	2,4522	Valor p (de F)	0,0008
rho	-0,0091	Durbin-Watson	2,0018

Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl

La tabla muestra los resultados del modelo VAR del orden 4. Indica si el modelo es significativo.

Tabla 7: Contraste F de restricciones cero

Todos los retardos de $\Delta VIX$	F(4, 2997) = 2,4155	0,0468
Todos los retardos de $\Delta FFR$	F(4, 2997) = 2,0438	0,0857
Todos los retardos de $\Delta SP5$	F(4, 2997) = 0,5430	0,7042
Todos los retardos de $\Delta WTI$	F(4, 2997) = 1,4494	0,2151

Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl

La tabla muestra los resultados del contraste F de restricciones cero. Un valor de menos de 0,1 en la última columna significa que el conjunto de los retardos de la variable es significativo.

<sup>3</sup> \* significa que la variable es significativa al 10%, \*\* significa que la variable es significativa al 5%,  
\*\*\* significa que la variable es significativa al 1%

A continuación, se explican en detalle los resultados del modelo y el significativo de estos para la presente investigación.

Se ha realizado el contraste F de restricciones cero (tabla 9), porque en el caso de un modelo VAR es más adecuado analizar si el conjunto de los retardos de una variable es significativo que analizar la significatividad de cada variable retardada individualmente. La hipótesis nula de este contraste es que la variabilidad de los retardos de una serie temporal no explica la variabilidad de la variable endógena, que en este caso es el  $\Delta VIX$ . Los valores calculados del contraste F indican que hay retardos de las series temporales que tienen poder de explicar una parte de variabilidad en el cambio de VIX y algunos que no tienen poder explicativo. En detalle, la variabilidad de los cuatros retardos del  $\Delta VIX$  son significativo al 5% y por eso pueden explicar su propia variabilidad. Los retardos del  $\Delta FFR$  son significativo a 10% y por eso, pueden explicar la variabilidad del cambio del VIX, también.

La hipótesis 1 de la investigación, en la cuál se ha basado el modelo, es que el *Federal Funds Rate* influye en el VIX (véase capítulo 3.1). Consecuentemente, según los resultados presentados, se puede aceptar la hipótesis 1 de que el cambio en el *Federal Funds Rate* influye en el cambio del VIX.

La hipótesis 2 de la investigación es que una reunión del Federal Open Market Committee tiene una influencia significativa en el VIX. La variable dicotómica “REU” que refleja si había una reunión del Federal Open Market Committee tiene un valor p de 0,0015 (tabla 7), es decir, está significativa al 1%. Consecuentemente, se puede rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis 2 de que una reunión del Federal Open Market Committee influye en el VIX.

El West Texas Intermediate (WTI) se ha implementado para medir si este factor macroeconómico influye significativamente al VIX, hipótesis que el modelo no respalda (tabla 9). Este resultado corresponde con la literatura. Schwert (1989), por ejemplo, examinó la relación entre la macroeconomía y la volatilidad del mercado bursátil en los EE.UU. y no encontró evidencia significativa. Su trabajo progresista abrió una nueva línea de investigación con una serie de estudios que examinaron con más profundidad la relación entre la volatilidad macroeconómica y la del mercado de acciones. Engle y Rangel (2008) y Diebold y Yilmaz (2008) estudiaron varios sistemas económicos y

concluyeron que la volatilidad macroeconómica, basada en sus variables seleccionadas, no explicaba claramente la volatilidad del mercado de acciones. Una conclusión similar fue alcanzada por Morelli (2002) para el Reino Unido. Por lo tanto, aunque la macroeconomía ha desempeñado un papel establecido para influir en los rendimientos del mercado de valores y los ciclos comerciales, no se puede decir lo mismo de las medidas de volatilidad (Bevilacqua, Morelli, & Tunaru, 2002).

Los retardos del  $\Delta SP5$  no son significativos al 10% (tabla 9) lo que resulta en que no pueden explicar la variabilidad en el VIX. Este resultado parece sorprendente porque el VIX mide la volatilidad del S&P 500 y, a causa de esto, tendría que existir evidencia de que el S&P 500 influye en el VIX, pero en el modelo empleado este no sería el caso. Para entender mejor este resultado ha de tenerse en cuenta que se han empleado también los retardos del VIX, las cuales son significativos al 5%. Hay una alta probabilidad de que los retardos del VIX ya contengan la información aportada por el S&P 500 y por eso, la variable  $\Delta SP5$  resulta no significativa.

El modelo VAR en conjunto es significativo al 1% con un valor p del contraste F de 0,000791 (tabla 8). Además, su coeficiente de determinación, el valor de  $R^2$ , es 0,0534 lo que significa que, en conjunto, la variabilidad del cambio del VIX es explicada por un 5,34% por la variabilidad de los retardos de las series temporales observados. El análisis complementario en referencia a posibles problemas que aparecen con cierta frecuencia en el diseño de un modelo VAR, como por ejemplo autocorrelación, multicolinealidad o heterocedasticidad, puede encontrarse en el anexo.

Para analizar mejor la influencia de las series temporales observadas en el VIX, se procede al análisis de las repuestas a impulso, un método común en el análisis de series temporales.

## 4.2 Análisis de la repuesta a impulso

El análisis de la respuesta al impulso se usa para identificar las relaciones entre las variables y cómo la variable base, en este caso la primera derivación del VIX, se comporta en referencia a cambios en las otras variables. El programa Gretl genera un impulso en una de las variables FED Rate, S&P 500 o WTI y estima cómo el VIX reaccionará a este impulso.

A continuación, se presenta para cada variable una tabla cuya primera columna cuenta los días después del impulso, la segunda columna indica la respuesta del  $\Delta VIX$  en la variable en puntos porcentajes y en la última columna se ha calculado el impacto del impulso en el VIX suponiendo que el valor del VIX fue 10 en el momento del impulso. Se ha observado un horizonte temporal de 14 días después del impulso. La respuesta del  $\Delta VIX$  (segunda columna en la tabla) se ha ilustrado en los gráficos negros (ilustraciones 11, 13 y 15). El ámbito gris señala las posibles reacciones dentro de un intervalo de confianza de Bootstrap de  $1-\alpha = 0,90$ . Los gráficos azules (ilustraciones 12, 14 y 16) ilustran la respuesta del VIX a un impulso en otra variable suponiendo que el valor inicial del VIX fue 10 (calculado en la tercera columna de la tabla).

Tabla 8: impulso en la variable delta FFR

impulso en la variable $\Delta FFR$	d_VIX	VIX
0	0	10
1	-0,0156	9,8437
2	0,1491	11,3114
3	-0,0085	11,2152
4	-0,0968	10,1291
5	-0,0232	9,8945
6	-0,0057	9,8378
7	0,0392	10,2235
8	0,0219	10,4476
9	-0,0081	10,3630
10	-0,0120	10,2385
11	-0,0087	10,149
12	0,0023	10,1720
13	0,0058	10,2307
14	0,0026	10,2569

Ilustración 11: Respuesta del delta VIX a un impulso de la variable delta FED Rate

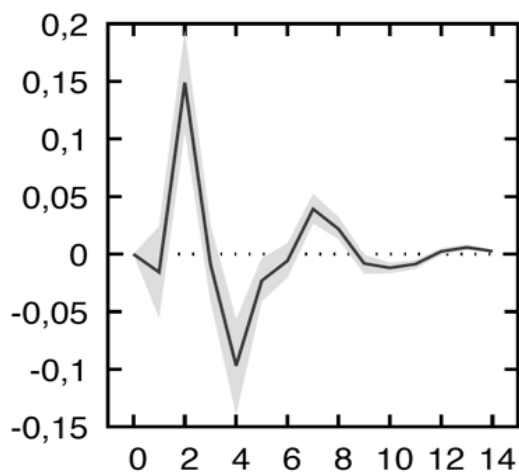
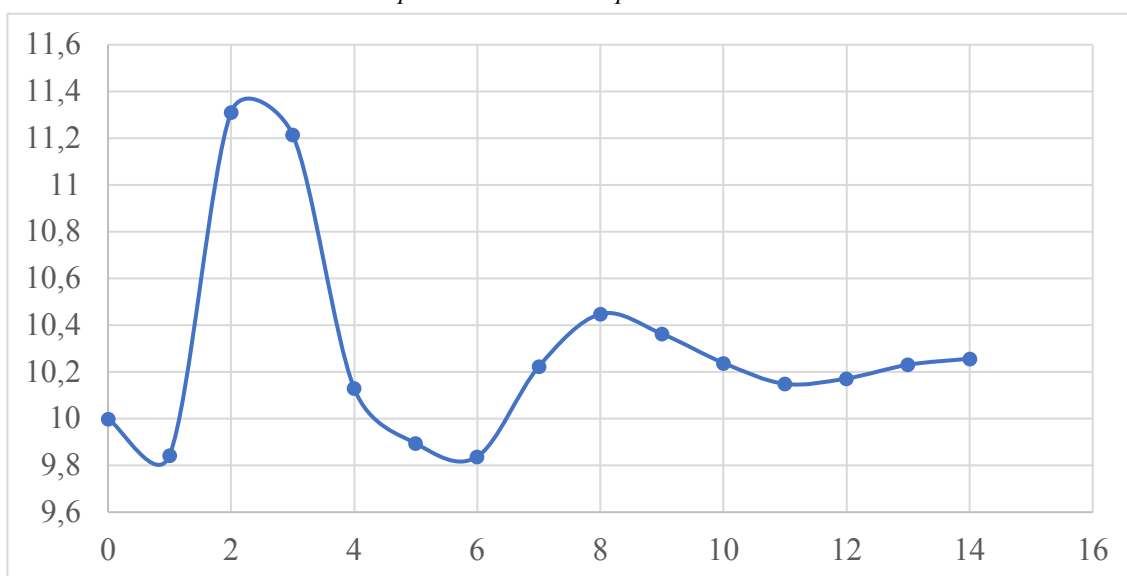


Ilustración 12: respuesta del VIX al impulso en la variable delta FFR



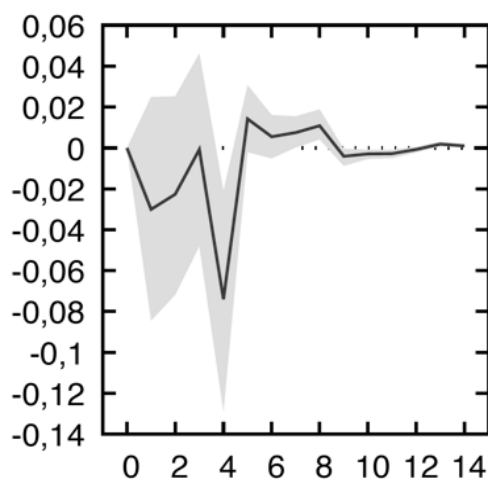
En primer lugar, se examina la respuesta de la primera derivación en el VIX a un impulso en la primera derivación del *Federal Funds Rate*. Como se puede observar tanto en la tabla como en el gráfico, el primer día después de un impulso en la variable  $\Delta FFR$  el  $\Delta VIX$  es negativo, en particular, baja por 0,0156 puntos de porcentaje. En el segundo día ocurre una reacción inesperada: el  $\Delta VIX$  aumenta por 0,1491 puntos de porcentaje. En el día tres hasta el día seis después del impulso, comienza la reacción esperada: el  $\Delta VIX$  baja continuamente durante tres días consecutivos antes de que suba mínimamente durante dos días, para después bajar nuevamente durante tres días. El ámbito gris, que refleja las desviaciones posibles en la respuesta del  $\Delta VIX$ , se encuentra muy próximo de

la línea negra, lo que significa que la respuesta a un impulso siempre sigue el esquema dibujado. El único cambio posible es que la respuesta sea un poco más o menos intensa. Lo interesante es que un impulso en la primera derivación del *Federal Funds Rate* aumenta el valor del VIX no solo a corto, pero también al largo plazo (ilustración 12). Es decir, cuando la respuesta inmediata disminuye, el VIX no vuelve a su valor anterior del impulso como lo hace en caso de un impulso en la variable  $\Delta SP5$  y  $\Delta WTI$ , pero se estabiliza en un nivel más alto. Esto significa que un cambio en el *Federal Funds Rate* incrementa el VIX al largo plazo y el efecto es durable en el tiempo.

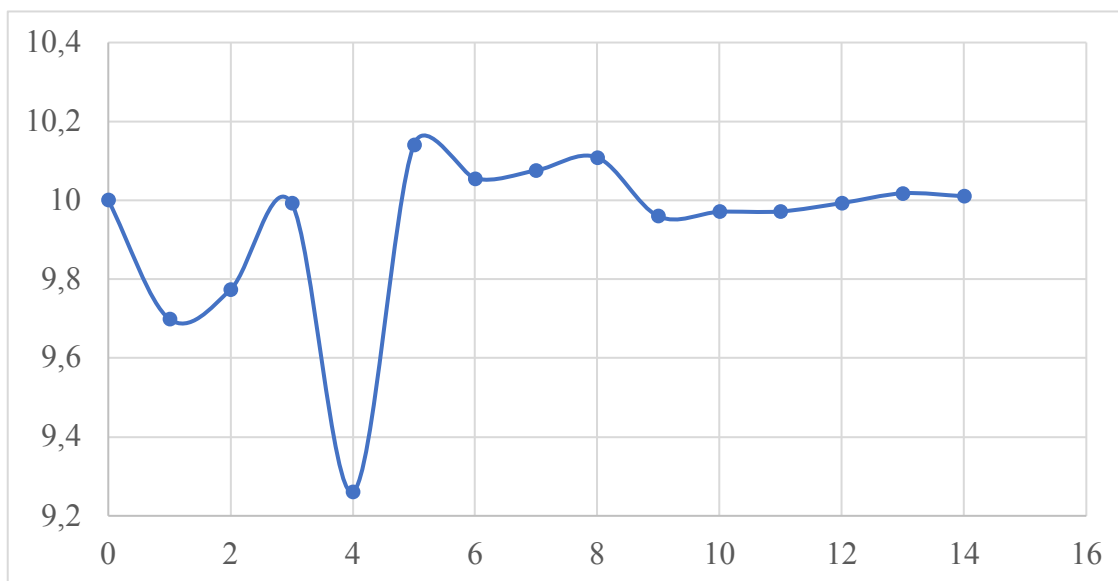
Tabla 9: impulso en la variable delta SP5

impulso en la variable $\Delta SP5$	d_VIX	VIX
0	0	10
1	-0,0301	9,699
2	-0,0226	9,7738
3	-0,0008	9,9920
4	-0,074	9,2604
5	0,0141	10,1410
6	0,0055	10,0550
7	0,0076	10,0756
8	0,0109	10,1085
9	-0,0041	9,9595
10	-0,0029	9,9708
11	-0,0028	9,9717
12	-0,0007	9,993
13	0,0018	10,0177
14	0,0010	10,0103

Ilustración 13: Respuesta del delta VIX a un impulso de la variable delta SP5



*Ilustración 14: Respuesta del VIX a un impulso de la variable delta SP5*



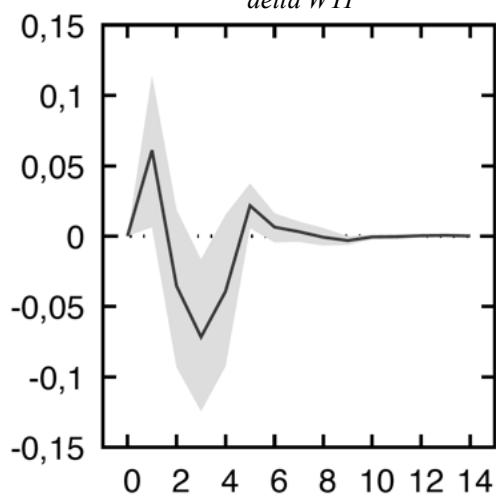
Otro caso se da para la respuesta del  $\Delta VIX$  a un impulso en el  $\Delta S\&P 500$ . La ilustración 13 dibuja una bajada en el  $\Delta VIX$  para los primeros seis días después del impulso. Este es un comportamiento esperado dado que el S&P 500 y el VIX suelen moverse en direcciones contrarias. Sin embargo, se destaca que el intervalo de confianza de Bootstrap (el área gris) es muy amplio, implicando que la respuesta del  $\Delta VIX$  a un impulso en el cambio del S&P 500 también podría ser positiva en los primeros 4 días después del impulso. Como ya ha sido mencionado antes, la respuesta del VIX a este impulso no es perdurable en el tiempo, después de 14 días el VIX ya se ha estabilizado en el mismo nivel que tenía antes del impulso.

*Tabla 10: impulso en la variable delta WTI*

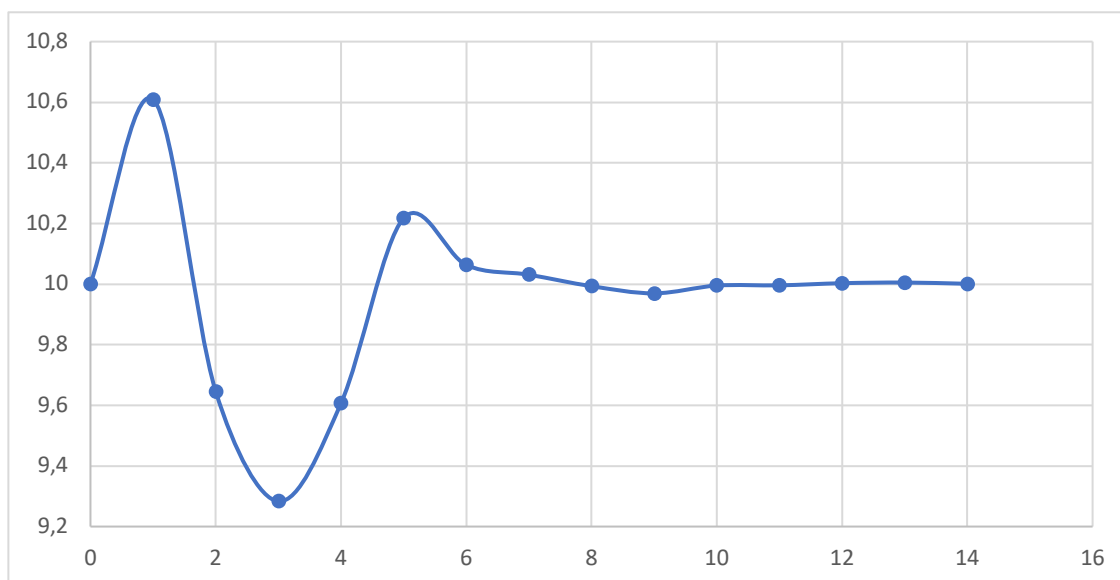
impulso en la variable d_WTI	d_VIX	VIX
0	0	10
1	0,0609	10,6092
2	-0,0354	9,6457
3	-0,0717	9,2831
4	-0,0393	9,6066
5	0,0217	10,2174
6	0,0063	10,0631
7	0,0031	10,0309
8	-0,0007	9,9931
9	-0,0030	9,9695

10	-0,0005	9,9951
11	-0,0004	9,9959
12	0,0003	10,0029
13	0,0005	10,0051
14	0,0001	10,001

*Ilustración 15: Respuesta del delta VIX a un impulso de la variable delta WTI*



*Ilustración 16: Respuesta del delta VIX a un impulso de la variable WTI*



La respuesta del  $\Delta VIX$  a un impulso en el  $\Delta WTI$  es más corta, es decir, la respuesta solamente es notable en los primeros 10 días después del impulso. En el primer día el impulso en el  $\Delta WTI$  influye positivamente al  $\Delta VIX$  y en los siguientes tres días influye



negativamente al  $\Delta VIX$ . Siguen cuatro días de poco impacto negativo, antes de que el VIX se sitúe de nuevo en su nivel anterior. La fuerte respuesta negativa en los días dos a cuatro después del impulso es la esperada. Se puede concluir que un impulso en el cambio del WTI no influye el VIX duraderamente, debido a que después de 10 días ya ha regresado a su nivel anterior al impulso (ilustración 16).

En resumen, se puede observar que la respuesta del  $\Delta VIX$  a un impulso en la variable  $\Delta FFR$  es la más intensa con un aumento por 0,149 puntos de porcentaje en el segundo día después del impulso y una bajada de 0,0968 en el quinto día después del impulso. Mientras que la respuesta del  $\Delta VIX$  a un impulso en el cambio del S&P 500 o WTI, puede variar mucho de un caso a otro, la respuesta del  $\Delta VIX$  a un impulso en el cambio de la variable FFR es muy previsible. La observación más importante para la presente investigación es que un cambio en el *Federal Funds Rate* incrementa el VIX al largo plazo, es decir, que el efecto es durable en el tiempo.

### 4.3 División de la muestra

Dado que la investigación se enfoca en el rendimiento del VIX durante el tiempo entre mayo a octubre de 2017, en este capítulo se divide la muestra en tres partes con el objetivo de comprobar si los resultados del modelo cambian. La muestra original, que se nombra muestra 0, incluye datos desde el 10 de octubre 2005 hasta el 29 de septiembre 2017.

La primera corte se hace el 27 de septiembre de 2012, es decir, la muestra 1 incluye datos desde el 10 de octubre 2005 hasta el 27 de septiembre 2012, un total de cinco años. Este periodo de tiempo está caracterizado por altas fluctuaciones en la volatilidad y la crisis financiera de 2008. Se puede observar tres puntos altos (véase ilustración 3). El primer máximo se encuentra en otoño de 2008, el segundo en mayo de 2010 y el tercero en agosto de 2011. Se ha seleccionado la fecha 27 de septiembre 2012 porque a partir de esa fecha comenzó una fase muy estable del VIX con una media por debajo de los 20 puntos de porcentaje. Adicionalmente, marca el final de la crisis soberana en Europa. Empleando la muestra 1 en el modelo se recibe los siguientes resultados:

*Tabla 11: Resultados de la muestra 1*

Modelo empleando muestra 1:		2005-10-10 a 2012-09-27	
Media de la vble. dep.	0,0001	D.T. de vble. dep.	2,1356
Suma de cuad. residuos	7411,551	D.T. de la regresión	2,0650
R-cuadrado	0,0741	R-cuadrado corregido	0,0649
F (17, 1738)	2,3108	Valor p (de F)	0,0018
rho	0,0006	Durbin-Watson	1,9983

*Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl*

*La tabla muestra los resultados del modelo VAR empleando la muestra 1. Indica si el modelo es significativo.*

*Tabla 12: Resultados para la variable reunión*

	Coefficiente	Desv. típica	Estadístico t	Valor p	
Reunión	5,2097	1,8343	2,840	0,0046	*** <sup>4</sup>

*Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl*

*La tabla muestra los resultados para la variable reunión del FOMC.*

<sup>4</sup> \* significa que la variable es significativa al 10%, \*\* significa que la variable es significativa al 5%, \*\*\* significa que la variable es significativa al 1%

Tabla 13: Contraste F de restricciones cero para la muestra 1

Contraste F de restricciones cero		
Todos los retardos de $\Delta VIX$	$F(4^5, 1738) = 2,4862$	0,0418
Todos los retardos de $\Delta FFR$	$F(4, 1738) = 2,1029$	0,0781
Todos los retardos de $\Delta SP5$	$F(4, 1738) = 0,5272$	0,7158
Todos los retardos de $\Delta WTI$	$F(4, 1738) = 1,7001$	0,1474
Todas las variables, retardo 4	$F(4, 1738) = 1,5485$	0,1856

Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl

La tabla muestra los resultados del contraste F de restricciones cero. Un valor de menos de 0,1 en la última columna significa que el conjunto de los retardos de la variable es significativo.

En el caso de la muestra 1 el modelo sigue siendo significativo al 1% con un valor p de 0,001779. Consistente con la muestra original (muestra 0), los retardos del VIX son conjuntamente significativos al 5% y los retardos de la variable FFR (*Federal Funds Rate*) son conjuntamente significativos al 10%. Las reuniones del FOMC son significativas al 1%. No se observan grandes diferencias.

La muestra 2 incluye los datos del 27 de septiembre de 2012 hasta el 8 de marzo de 2017. Este periodo está caracterizado por pocas fluctuaciones en la volatilidad. Se ha elegido marzo de 2017 para hacer el corte porque en este mes el FOMC votó por primera vez en 2017 por un aumento en el *Federal Funds Rate*. Empleando esta muestra en el modelo se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 14: Resultados de la muestra 2

Modelo empleando muestra 2: 2012-09-27 a 2017-03-08			
Media de la vble. dep.	-0,0044	D.T. de vble. dep.	1,3421
Suma de cuad. residuos	1982,737	D.T. de la regresión	1,3383
R-cuadrado	0,0137	R-cuadrado corregido	0,0056
F (9, 1107)	1,6981	Valor p (de F)	0,0849
rho	0,0002	Durbin-Watson	1,9976

Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl. Indica si el modelo es significativo.

La tabla muestra los resultados del modelo VAR empleando la muestra 2.

<sup>5</sup> El orden del VAR para la muestra 1 es 4. Los resultados del análisis del orden del VAR se pueden encontrar en el anexo.

Tabla 15: Resultados de la muestra 2 para la variable reunión

	Coefficiente	Desv. típica	Estadístico t	Valor p	
Reunión	-0,2867	0,1682	-1,704	0,0887	*

Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl

La tabla muestra los resultados para la variable reunión del FOMC.

Tabla 16: Contraste F de restricciones cero para la muestra 2

Contraste F de restricciones cero		
Todos los retardos de $\Delta VIX$	$F(2^6, 1107) = 1,5821$	0,2060
Todos los retardos de $\Delta FFR$	$F(2, 1107) = 0,0073$	0,9928
Todos los retardos de $\Delta SP5$	$F(2, 1107) = 2,7083$	0,0671
Todos los retardos de $\Delta WTI$	$F(2, 1107) = 2,3752$	0,0935
Todas las variables, retardo 2	$F(2, 1107) = 1,6068$	0,1703

Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl

La tabla muestra los resultados del contraste F de restricciones cero. Un valor de menos de 0,1 en la última columna significa que el conjunto de los retardos de la variable es significativo.

Empleando la muestra 2 se pueden observar importantes diferencias. Lo que llama la atención es que en los resultados de la muestra 2 los retardos tanto del VIX como del FFR ya no son más conjuntamente significativos, pero los retardos del S&P 500 y del WTI son significativos al 10% (véase tabla 16). Con un valor p de 0,0849 el modelo sigue siendo significativo. Que los retardos del VIX no influyan significativamente en su nivel actual se puede explicar por el hecho de que el VIX no sigue ningún patrón reconocible en este periodo de tiempo. Este resultado va en contra de la teoría de que la volatilidad sigue un circuito de retroalimentación. Las reuniones del FOMC son significativas al 10%.

Los retardos del *Federal Funds Rate* dejan de influir en el nivel del VIX porque el nivel del *Federal Funds Rate* casi no varía en estos años y por eso no tiene el poder de ejercer influencia.

<sup>6</sup> El orden del VAR para la muestra 2 es 2. Los resultados del análisis del orden del VAR se pueden encontrar en el anexo.

Es especialmente interesante observar que en este periodo de poco movimiento tanto en el VIX como en el *Federal Funds Rate*, el WTI, es decir el precio del petróleo, gana importancia e influye significativamente en el VIX. La influencia del WTI se puede explicar por los resultados de Datta et al. (2017) que muestran que el crudo se mueve mucho más similar con los rendimientos de las acciones en este periodo de tiempo que antes. Además, encontraron que tanto el crudo como las acciones son más sensibles a noticias de economía en el periodo de 2008 hasta 2017 (Datta, Johansson, Kwon, & Vigfusson, 2017).

La tercera muestra incluye solo los datos más recientes, del 8 de marzo de 2017 hasta el 29 de septiembre de 2017. Esta muestra se emplea para examinar si el modelo sirve para explicar el reciente rendimiento inesperado del VIX.

Tabla 17: Resultados de la muestra 3

Modelo empleando la muestra 3:		2017-03-08 a 2017-09-29	
Media de la vble. dep.	-0,0135	D.T. de vble. dep.	1,0077
Suma de cuad. residuos	124,6686	D.T. de la regresión	0,9947
R-cuadrado	0,1414	R-cuadrado corregido	0,0256
F (5, 138)	2,0024	Valor p (de F)	0,0156
Rho	0,006	Durbin-Watson	1,9852

Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl

La tabla muestra los resultados del modelo VAR empleando la muestra 2. Indica si el modelo es significativo.

Tabla 18: Resultados de la muestra 3 para la variable reunión

	Coefficiente	Desv. típica	Estadístico t	Valor p
Reunión	0,0755	0,2179	0,3467	0,7294

Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl

La tabla muestra los resultados para la variable reunión del FOMC.

Tabla 19: Contraste F de restricciones cero para la muestra 3

Contraste F de restricciones cero		
Todos los retardos de $\Delta VIX$	$F(1^7, 138) = 1,6194$	0,1734
Todos los retardos de $\Delta FFR$	$F(1, 138) = 2,2981$	0,0626
Todos los retardos de $\Delta SP5$	$F(1, 138) = 2,5967$	0,0394
Todos los retardos de $\Delta WTI$	$F(1, 138) = 1,4283$	0,2284
Todas las variables, retardo 1	$F(1, 138) = 2,6921$	0,0340

Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl

La tabla muestra los resultados del contraste F de restricciones cero. Un valor de menos de 0,1 en la última columna significa que el conjunto de los retardos de la variable es significativo.

Empleando la muestra 3, el modelo en conjunto es significativo al 5%. Se puede observar que el retardo del VIX no influye en su nivel, pero la influencia del retardo del S&P 500 es significativa al 5%. Parece que dependiente de la muestra la influencia en el VIX cambia entre sus propios retardos y los del S&P 500. Desde un punto teórico ambos retardos reflejan una información similar.

Según los resultados, los retardos del *Federal Funds Rate* tienen una influencia significativa al 10% en el nivel del VIX como ya se ha podido observar en la muestra 1 y en la muestra original. Esto no es sorprendente dado que el FOMC empezó por elevar el nivel del *Federal Funds Rate* en marzo de 2017 y siguió incrementándolo durante el periodo de tiempo descrito. El WTI ha dejado de influir en el VIX. La muestra 3 es la única muestra en la cuál las reuniones del FOMC no son significativas. Esto puede ser debido a que solo había diez reuniones del FOMC en este periodo de tiempo.

En resumen, se puede observar que generalmente el nivel del *Federal Funds Rate* es un factor con influencia significativa en el nivel del VIX y sirve para explicar el reciente comportamiento del VIX. Empleando la muestra 2, los resultados no muestran una influencia significativa por parte de la variable FFR, lo que se puede explicar por los pocos movimientos en el *Federal Funds Rate* que había en este periodo de tiempo. Sin embargo, en base a la muestra original, la muestra 1 o la muestra 3, los resultados dejan observar una influencia significativa al 10% del *Federal Funds Rate* en el nivel del VIX.

<sup>7</sup> El orden del VAR para la muestra 3 es 1. Los resultados del análisis del orden del VAR se pueden encontrar en el anexo.

## 5. CONCLUSIÓN

El estudio presente proporciona un modelo empírico que explica el rendimiento del VIX durante los últimos 12 años. Demuestra que el *Federal Funds Rate* es un factor determinante con influencia significativa en el nivel del VIX.

Motivado por los bajos valores inesperados del VIX durante la mayor parte de 2017 y el inicio de 2018, se han identificado primero diferentes influencias en el VIX y examinado especialmente el papel de la política monetaria. En base a la investigación sobre el tema y la revisión profunda de la literatura se elaboró un modelo empírico y se establecieron las dos hipótesis siguientes:

1. El tipo de interés básico influye significativamente en el cambio del VIX.
2. Una reunión del Federal Open Market Committee tiene una influencia significativa en el VIX.

Se comprobó la significatividad de las dos variables propuestas empleando un modelo VAR debido a las características de las series temporales incluidas según la falta de estacionariedad y cointegración. En la construcción del modelo y en el análisis se ha seguido las habituales etapas: especificación, estimación, validación y utilización. Finalmente, los resultados más importantes del modelo son los siguientes:

- El *Federal Funds Rate* tiene una influencia significativa al 10% en el VIX y por eso, se acepta la hipótesis uno.
- Las reuniones del *Federal Open Market Committee* tienen una influencia significativa al 1% en el VIX y por eso se acepta la hipótesis dos.

Tanto la influencia del *Federal Funds Rate* en el VIX como la influencia de las reuniones del *Federal Open Market Committee* en el VIX son consistentes con la literatura revisada. Se lleva adelante el trabajo de Krieger et al. (2015) destacando el gran papel de la política monetaria en referencia al índice de volatilidad. Sobre todo, el análisis de la respuesta del VIX a un impulso en el *Federal Funds Rate*, que ha mostrado un impacto a la alza duradero en el tiempo, subraya el poder de la política monetaria en el VIX.

Este estudio contribuye a la literatura sobre el entendimiento general del VIX y su rendimiento. Se ha examinado la influencia del *Federal Funds Rate* en el VIX con el objetivo de que los inversores en el índice de volatilidad puedan adaptar sus estrategias o posiciones a los nuevos conocimientos y reducir su riesgo.

Los resultados generados son de gran interés para los inversores en el índice de volatilidad, quienes deberían tener en cuenta las intenciones del *Federal Open Market Committee* respecto al *Federal Funds Rate* a la hora de diseñar su estrategia de inversión. Asimismo, los resultados también son importantes a nivel gubernamental. Se ha examinado que el *Federal Open Market Committee* puede influir significativamente en el VIX de dos maneras: primeramente, por el nivel del *Federal Funds Rate* que fija y por segundo, por sus reuniones. Esto implica que la institución tiene mucha palanca a su disposición que ha de introducirse en su proceso de toma de decisiones.

Aunque el mercado estadounidense se entienda como un mercado libre que perjudica cualquier forma de interferencia por parte del estado, se ha comprobado que la influencia más grande en el VIX no proviene de factores del libre mercado, como, por ejemplo, el precio del petróleo, sino que la ejerce el *Federal Open Market Committee*. Esto implica que si pretende evitarse acontecimientos como el “*VIX-Mageddon*” en el futuro no es posible confiar en la famosa mano invisible del mercado libre introducido por Adam Smith, sino que se han de analizarse las intenciones del *Federal Open Market Committee* e incluirse un factor fijado artificialmente por humanos en la estrategia de inversión.

Se ha descubierto que la influencia descrita del *Federal Funds Rate* al VIX no se mantiene, a través del análisis de datos entre 2012 y 2017 debido a los pocos movimientos que había en el nivel del *Federal Funds Rate* en este periodo de tiempo. Sin embargo, los resultados muestran que el nivel del *Federal Funds Rate* sirve para explicar el reciente comportamiento del VIX dado que su influencia en el VIX sigue siendo significativa empleando datos de 2017.

Esa investigación deja mucho espacio para nuevas investigaciones que puedan contribuir con un mayor valor a la modelización del VIX. Trabajos futuros deberían examinar otros factores relacionados al rendimiento del VIX que puedan explicar los niveles bajos del VIX durante 2017. Sería interesante investigar con profundidad el papel del precio de petróleo y su influencia en el VIX en tiempos de poco movimiento por parte del *Federal*



*Funds Rate*, dado que los resultados mostraron una influencia significativa del WTI en el VIX en el periodo de tiempo entre 2012 y 2017. Igualmente, se podría extender el modelo en un modelo no lineal, puesto que se han encontrado diferencias en los resultados sobre la influencia en el VIX debido al empleo de diferentes muestras.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Liu, C., Sun, X., Chen, J., & Li, J. (2016, mayo). Statistical properties of country risk ratings under oil price volatility: Evidence from selected oil-exporting countries. *Energy Policy*, 92, 234-245.
- Cole, C. (2017). *Volatility and the Alchemy of Risk*. Austin: Artemis Capital Management L.P.
- Chow, V., Jiang, W., & Li, J. V. (2014, Agosto 31). *Does VIX Truly Measure Return Volatility?* Retrieved from SSRN: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2489345](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2489345)
- Coy, P., & Soong, W. (2017, agosto 7). Who's Afraid of Low Volatility? *Bloomberg Businessweek*, 23-25.
- Adrian, T., & Shin, H. S. (2008). Liquidity, Monetary Policy, and Financial Cycles. *Current Issues in Economics and Finance*, 14(1).
- Antonakakis, N., Chatziantoniou, I., & Filis, G. (2017, marzo). Oil shocks and stock markets: Dynamic connectedness under the prism of recent geopolitical and economic unrest. *International Review of Financial Analysis*, 50, 1-26.
- Avellaneda, M., & Papanicolaou, A. (2017). *Some remarks on VIX futures and ETNs*. New York: Courant Institute, New York University .
- Bloomberg Businessweek. (2017). *Who's Afraid of Low Volatility?* New York City: Bloomberg L.P.
- Barone, G., & Mocetti, S. (2016). *Intergenerational mobility in the very long run: Florence 1427-2011* . Rom: Banca de Italia.
- Bekaert, G., Hoerova, M., & Lo Duca, M. (2013). Risk, uncertainty and monetary policy. *Journal of Monetary Economics*, 60, 771–788.
- Bessent, S. (2017). when real interest rates are lowered, financial volatility is suppressed. *The international economy*, 9.
- Bessent, S. (2017). When real interest rates are lowered, financial volatility is suppressed. *The international economy*, 9.
- Bevilacqua, M., Morelli, D., & Tunaru, R. (2002). *The Determinants of the Model-Free Positive and Negative Volatilities*. Kent: University of Kent.
- Datta, D., Johannsen, B. K., Kwon, H., & Vigfusson, R. J. (2017, julio 7). Oil, Equities, and the Zero Lower Bound. 1-28.
- Davidson, R., & Mac Kinnon, J. G. (1993). *Estimation and Inference in Econometrics*. New York: Oxford University Press.
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2008). *Macroeconomic volatility and stock market volatility, worldwide*. Cambridge: National Bureau of Economic Research.
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2014). On the network topology of variance decompositions: Measuring the connectedness of financial firms. *Journal of Econometrics*, 182(1), 119-134.
- El-Erian, M. (2017). Markets have become conditioned to rely on comforting stabilizers. *The international economy*, 10-11.
- Engle, R. F., & Rangel, J. G. (2008). The spline-GARCH model for low-frequency volatility and its global macroeconomic causes. *Review of Financial Studies*, 21(3), 1187–1222.
- Federal Reserve. (2017, octubre 29). *United States FED Funds Rate*. Retrieved from Trading economics: <https://tradingeconomics.com/united-states/interest-rate>
- Federal Reserve. (2018, Enero 20). *United States Fed Funds Rate*. Retrieved from Trading Economics: <https://tradingeconomics.com/united-states/interest-rate>

- Fondo Monetario Internacional. (2017, octubre). *Perspectivas de la economía mundial*. Retrieved from <https://www.imf.org/es/Publications/WEO/Issues/2017/09/19/world-economic-outlook-october-2017>
- FRED Economic Data. (2018, Enero 19). *Crude Oil Prices: West Texas Intermediate (WTI) - Cushing, Oklahoma (DCOILWTICO)*. Retrieved from Economic Research Federal Reserve Bank of St. Louis: <https://fred.stlouisfed.org/series/DCOILWTICO>
- Gospodinov, N., & Jamali, I. (2015). The response of stock market volatility to futures-based measures of monetary policy shocks. *International Review of Economics and Finance*, 37, 42-54.
- Hamilton, J. (1994). *Time Series Analysis*. New York: Princeton University Press.
- Han, H., & Zhang, S. (2012). Non-stationary non-parametric volatility model. *The Econometrics Journal*, 15, 204-225.
- Henderson, V. (2006). *Black-Scholes Model*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Ltd.
- Hill, R. C., Griffiths, W. E., & Lim, G. C. (2011). *Principles of Econometrics* (Vol. Fourth Edition). Hoboken, New Jersey, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Holton, G. A. (2002). *History of Value-at-Risk: 1922-1998*. Boston: Contingency Analysis.
- Jubinski, D., & Tomljanovich, M. (2017). Central Bank Actions and Words: The Intraday Effects of FOMC Policy Communications on Individual Equity Volatility and Returns. *The Financial Review*, 52, 701-724.
- Kearney, A. A., & Lombra, R. E. (2014). stock market volatility, the news, and monetary policy. *Journal of Economics and Finance*, 2(28), 252-259.
- Krieger, K., Mauck, N., & Vazquez, J. (2015, marzo 10). Comparing U.S. and European market volatility responses to interest rate policy announcements. *International Review of Financial Analysis*, 39, 127-136.
- Mikosch, T., & Starica, C. (2004, Febrero). Nonstationarities In Financial Time Series, The Long-Range Dependence, And The Igarch Effects . *The Review of Economics and Statistics*, 86(1), 378–390.
- Minsky, H. (1992). *The financial instability hypothesis*. Annandale on Hudson: Jerome Levy Economics Institute.
- Morelli, D. (2002). The relationship between conditional stock market volatility and conditional macroeconomic volatility: Empirical evidence based on UK data. *International Review of Financial Analysis*, 11(1), 101–110.
- Moyo, D. (2017, octubre 18). *Why Wall Street's fear index remains calm*. Retrieved from Financial Times: <https://www.ft.com/content/03935d3a-b254-11e7-aa26-bb002965bce8#myft:saved-articles:page>
- O'Neill, J. (2017). The world is doing better than most people think. *The International Economy (the magazine of international economic policy)*, 8.
- Pfrang, C., & Wigglesworth, R. (2018, marzo 6). Wall Street's volatility products in the spotlight. *Financial Times*.
- Posen, A. S. (2017). Historically, geopolitical risk has had little market impact . *The international economy*, 10.
- Rajan, R. G. (2006). Has Finance Made the World Riskier? *European Financial Management*, 499-533.
- Schwert, G. W. (1989). Why does stock market volatility change over time? *Journal of Finance*, 44(5), 1115–1153.

- The Royal Swedish Academy of Science, K. V. (2018, enero 18). *The Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 1990* Harry M. Markowitz, Merton H. Miller, William F. Sharpe. Retrieved from Nobelprize.org: [https://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/economic-sciences/laureates/1990/press.html](https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/economic-sciences/laureates/1990/press.html)
- Wigglesworth, R. (2018, marzo 1). *An abridged, illustrated history of volatility*. Retrieved marzo 2018, from Financial Times: <https://ftalphaville.ft.com/2018/02/28/1519839805000/An-abridged--illustrated-history-of-volatility/>
- Yahoo! (2017, octubre 19). *VOLATILITY S&P 500 (^VIX)*. Retrieved from <https://de.finance.yahoo.com/quote/^VIX?p ^= ^VIX>
- Yahoo! Finance. (2018, marzo 18). *CBOE Volatility Index (^VIX)*. Retrieved from Finance, Yahoo!: <https://finance.yahoo.com/quote/^VIX/history?period1=1514761200&period2=1521068400&interval=1d&filter=history&frequency=1d>

## 7. ANEXO

### Análisis complementario

Este capítulo examina el modelo a posibles problemas que suelen ocurrir en el diseño de un modelo VAR.

#### 1. Autocorrelación

Autocorrelación existe cuando las perturbaciones de distintas observaciones tienen una relación lineal entre sí. En el caso de series temporales esta implicación existe siempre porque el comportamiento de hoy depende del comportamiento del día anterior. El contraste de autocorrelación confirma esto. Su hipótesis nula es que no hay autocorrelación.

*Tabla 20: contraste de autocorrelación*

Número de retardos	Valor F	p-valor
1	3,111	0,0000
2	2,162	0,0002
3	3,613	0,0000
4	3,813	0,0000

*Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl*

*La tabla muestra los resultados del contraste de autocorrelación. Un valor de menos de 0,1 en la última columna significa que se rechaza la hipótesis nula.*

Los valores de p de los retardos son más pequeños que 0,1 y por eso se rechaza la hipótesis nula, lo que significa que existe autocorrelación.

#### 2. Colinealidad

El análisis de colinealidad detecta si hay una relación lineal entre las series temporales explicativas, que no debe existir porque en caso contrario no es posible detectar que es la influencia de cada serie temporal individual. La comprobación de colinealidad tiene como resultado un número de condición de 3,3602. Este valor es más pequeño que el valor crítico de 50 lo que significa que en el modelo no hay un problema de colinealidad.

### 3. Heterocedasticidad

Cuando la varianza de las perturbaciones aleatorias no es constante e igual para todas las observaciones, hay un problema de heterocedasticidad. Esto significa que la variación de las perturbaciones no es la misma. Para identificar si hay heterocedasticidad en el modelo empleado se realiza el contraste de ARCH (Heterocedasticidad condicional autoregresiva). Los resultados del contraste de ARCH son los siguientes:

*Tabla 21: contraste de ARCH*

Número de retardo	LM	Df	p-valor
1	3372,354	100	0,0000
2	5274,610	200	0,0000
3	7310,866	300	0,0000
4	8256,645	400	0,0000

*Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl*

*La tabla muestra los resultados del contraste de ARCH. Un valor de menos de 0,1 en la última columna significa que se rechaza la hipótesis nula.*

La hipótesis nula de este contraste es que no hay heterocedasticidad. Los valores p son significativos al 1% y por eso se rechaza la hipótesis nula que significa que en el modelo empleado existe heterocedasticidad. Por eso, se trabaja con desviaciones típicas robustas ante de heterocedasticidad que son válidas haya o no haya heterocedasticidad.

## Selección del orden del VAR

La siguiente tabla muestra los resultados de la selección del orden del VAR para la muestra 1:

*Tabla 22: Examinación del orden del VAR para la muestra 1*

Retardos	P (RV)	AIC	BIC	HQC
1	0,0000	13,7158	13,7906	13,7435
2	0,0000	13,6714	13,796	13,7174

3	0,0000	13,5965	13,771*	13,661
4	0,0000	13,5617 *	13,7860	13,6446 *

*Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl*

La tabla muestra los valores calculados para la examinación del orden del VAR. El valor más pequeño dentro de una columna indica el orden adecuado del VAR. El programa añade una estrella al valor más pequeño.

Según los resultados mostrados en la tabla 19 se selección el orden 4 para la muestra 1.

La siguiente tabla muestra los resultados de la selección del orden del VAR para la muestra 2:

*Tabla 23: Examinación del orden del VAR para la muestra 2*

Retardos	P (RV)	AIC	BIC	HQC
1	0,0000	8,7889	8,8968 *	8,8297
2	0,0000	8,7559 *	8,9356	8,8238 *
3	0,069	8,7621	9,0137	8,8572
4	0,1931	8,7723	9,0957	8,8946

*Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl*

La tabla muestra los valores calculados para la examinación del orden del VAR. El valor más pequeño dentro de una columna indica el orden adecuado del VAR. El programa añade una estrella al valor más pequeño.

Según los resultados mostrados en la tabla 20 se selección el orden 2 para la muestra 2.

La siguiente tabla muestra los resultados de la selección del orden del VAR para la muestra 3:

*Tabla 24: Examinación del orden del VAR para la muestra 3*

Retardos	P (RV)	AIC	BIC	HQC
1	0,0000	8,2677 *	8,7627 *	8,4689 *
2	0,4608	8,3796	9,2046	8,7148
3	0,2046	8,4605	9,6154	8,9298
4	0,4465	8,5709	10,0558	9,1743

*Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl*

La tabla muestra los valores calculados para la examinación del orden del VAR. El valor más pequeño dentro de una columna indica el orden adecuado del VAR. El programa añade una estrella al valor más pequeño.

Según los resultados mostrados en la tabla 21 se selección el orden 1 para la muestra 3.

## Resultados completos del modelo VAR empleando la muestra original (10.10.2005 - 29.09.2017)

Tabla 25: Ecuación 1: primeras diferencias del VIX

$\Delta$ VIX					
	Coefficiente	Desv. típica	Estadístico t	Valor p	
Constante	0,0313	0,0350	0,893	0,3717	
$\Delta$ VIX -1	-0,1676	0,0726	-2,309	0,0210	**
$\Delta$ VIX -2	-0,1295	0,0934	-1,387	0,1656	
$\Delta$ VIX -3	-0,0793	0,064	-1,240	0,2149	
$\Delta$ VIX -4	-0,1553	0,0757	-2,052	0,0403	**
$\Delta$ FFR -1	-0,2754	0,8205	-0,336	0,7371	
$\Delta$ FFR -2	2,0343	0,914	2,226	0,0261	**
$\Delta$ FFR -3	0,4739	1,1491	0,413	0,6800	
$\Delta$ FFR -4	-0,8542	1,0363	-0,824	0,4098	
$\Delta$ SP5 -1	-0,0043	0,0064	-0,676	0,4988	
$\Delta$ SP5 -2	-0,0033	0,0079	-0,420	0,6744	
$\Delta$ SP5 -3	-0,0002	0,0054	-0,045	0,9639	
$\Delta$ SP5 -4	0,0078	0,0070	-1,114	0,2655	
$\Delta$ WTI -1	0,0387	0,0297	1,304	0,1924	
$\Delta$ WTI -2	-0,0147	0,0262	-0,564	0,5721	
$\Delta$ WTI -3	-0,0435	0,0285	-1,525	0,1274	
$\Delta$ WTI -4	-0,0332	0,0340	-0,974	0,3300	
REU	-0,4616	0,145	-3,184	0,0015	*** <sup>8</sup>

<sup>8</sup> \* significa que la variable es significativa al 10%, \*\* significa que la variable es significativa al 5%, \*\*\* significa que la variable es significativa al 1%



Media de la vble. dep.	-0,0017	D.T. de vble. dep.	1,8356
Suma de cuad. residuos	9613,071	D.T. de la regresión	1,791
R-cuadrado	0,0534	R-cuadrado corregido	0,0481
F (17, 2997)	2,4522	Valor p (de F)	0,0008
rho	-0,0091	Durbin-Watson	2,0018
<b>Contrastes F de restricciones cero:</b>			
Todos los retardos de $\Delta VIX$	F(4, 2997) = 2,4155		0,0468
Todos los retardos de $\Delta FFR$	F(4, 2997) = 2,0438		0,0857
Todos los retardos de $\Delta SP5$	F(4, 2997) = 0,5430		0,7042
Todos los retardos de $\Delta WTI$	F(4, 2997) = 1,4494		0,2151

*Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl*

*Tabla 26: Ecuación 2: primeras diferencias del FEDRate*

$\Delta FEDRate$					
	<b>Coefficiente</b>	<b>Desv. típica</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>	
Constante	-0,0008	0,0014	-0,5715	0,5677	
$\Delta VIX$ -1	0,0023	0,0020	1,151	0,2499	
$\Delta VIX$ -2	-0,0022	0,0016	-1,379	0,1680	
$\Delta VIX$ -3	-0,0035	0,0017	-2,042	0,0412	**
$\Delta VIX$ -4	-0,0033	0,0016	-2,026	0,0428	**
$\Delta FFR$ -1	-0,1799	0,0996	-1,806	0,0710	*
$\Delta FFR$ -2	-0,2170	0,0765	-2,836	0,0046	***
$\Delta FFR$ -3	-0,2669	0,0793	-3,368	0,0008	***
$\Delta FFR$ -4	-0,1474	0,0764	-1,931	0,0536	*
$\Delta SP5$ -1	-0,0000	0,0002	0,421	0,6738	
$\Delta SP5$ -2	-0,0000	0,0002	-0,3231	0,7466	
$\Delta SP5$ -3	-0,0003	0,0002	-1,536	0,1246	
$\Delta SP5$ -4	-0,0003	0,0020	-1,305	0,1919	
$\Delta WTI$ -1	-0,0008	0,0015	-0,4934	0,6217	
$\Delta WTI$ -2	-0,0141	0,0019	-0,7194	0,4720	
$\Delta WTI$ -3	0,0141	0,0014	1,026	0,3048	

$\Delta$ WTI -4	-0,0007	0,0014	-0,4682	0,6397	
REU	-0,0102	0,0062	-1,651	0,0988	* <sup>9</sup>
Media de la vble. dep.		-0,0009	D.T. de vble. dep.		0,0764
Suma de cuad. residuos		15,4486	D.T. de la regresión		0,0718
R-cuadrado		0,1218	R-cuadrado corregido		0,1168
F (17, 2997)		2,1377	Valor p (de F)		0,0043
rho		0,0061	Durbin-Watson		1,9871
Contrastes F de restricciones cero:					
Todos los retardos de $\Delta$ VIX		F(4, 2997) = 2,8120			0,0241
Todos los retardos de $\Delta$ FFR		F(4, 2997) = 5,3877			0,0003
Todos los retardos de $\Delta$ SP5		F(4, 2997) = 1,0791			0,3651
Todos los retardos de $\Delta$ WTI		F(4, 2997) = 0,6323			0,6395

*Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl*

Tabla 27: Ecuación 3: primeras diferencias del S&P 500

$\Delta$ S&P500				
	<b>Coefficiente</b>	<b>Desv. típica</b>	<b>Estadístico t</b>	<b>Valor p</b>
Constante	0,2387	0,3003	0,7950	0,4267
$\Delta$ VIX -1	0,2325	0,4583	0,5073	0,6120
$\Delta$ VIX -2	0,5484	0,5160	1,063	0,2879
$\Delta$ VIX -3	-0,0026	0,4308	-0,0061	0,9951
$\Delta$ VIX -4	0,6238	0,4596	1,357	0,1748
$\Delta$ FFR -1	4,2649	7,3360	0,5814	0,5610
$\Delta$ FFR -2	-11,1265	8,3771	-1,328	0,1842
$\Delta$ FFR -3	0,0147	8,7901	0,0017	0,9987
$\Delta$ FFR -4	10,6163	8,3018	1,279	0,2011
$\Delta$ SP5 -1	-0,0493	0,0455	-1,084	0,2784
$\Delta$ SP5 -2	0,0043	0,0501	0,0855	0,9319
$\Delta$ SP5 -3	-0,0127	0,0521	-0,3012	0,7633

<sup>9</sup> \* significa que la variable es significativa al 10%, \*\* significa que la variable es significativa al 5%,  
\*\*\* significa que la variable es significativa al 1%

$\Delta$ SP5 -4	0,0189	0,0477	0,3963	0,6919	
$\Delta$ WTI -1	-0,2923	0,2502	-1,168	0,2428	
$\Delta$ WTI -2	0,1906	0,2129	0,8950	0,3708	
$\Delta$ WTI -3	0,1040	0,2215	0,4696	0,6387	
$\Delta$ WTI -4	0,3357	0,2756	1,218	0,2234	
REU	3,9796	1,2419	3,205	0,0014	*** <sup>10</sup>

Media de la vble. dep.	0,4390	D.T. de vble. dep.	15,5954
Suma de cuad. residuos	714623,9	D.T. de la regresión	15,4417
R-cuadrado	0,0251	R-cuadrado corregido	0,0196
F (17, 2997)	1,7421	Valor p (de F)	0,0298
rho	-0,0013	Durbin-Watson	2,0024

Contrastes F de restricciones cero:

Todos los retardos de $\Delta$ VIX	F(4, 2997) = 0,6921	0,5974
Todos los retardos de $\Delta$ FFR	F(4, 2997) = 1,0866	0,3613
Todos los retardos de $\Delta$ SP5	F(4, 2997) = 0,3358	0,8540
Todos los retardos de $\Delta$ WTI	F(4, 2997) = 1,1048	0,3525

Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl

Tabla 28: Ecuación 4: primeras diferencias del WTI

$\Delta$ WTI				
	Coefficiente	Desv. típica	Estadístico t	Valor p
Constante	-0,0147	0,0313	-0,4687	0,6393
$\Delta$ VIX -1	-0,0009	0,0436	-0,0202	0,9839
$\Delta$ VIX -2	0,0267	0,0462	0,5785	0,5630
$\Delta$ VIX -3	0,0145	0,0406	0,3588	0,7198
$\Delta$ VIX -4	0,0086	0,0415	0,2061	0,8367
$\Delta$ FFR -1	-0,8295	1,0783	-0,7693	0,4418
$\Delta$ FFR -2	0,2046	1,0984	0,1862	0,8523
$\Delta$ FFR -3	0,7253	1,0661	0,6803	0,4963

<sup>10</sup> \* significa que la variable es significativa al 10%, \*\* significa que la variable es significativa al 5%,  
\*\*\* significa que la variable es significativa al 1%

$\Delta$ FFR -4	-0,9547	1,2200	-0,7825	0,4340	
$\Delta$ SP5 -1	0,0091	0,0055	1,722	0,0853	*
$\Delta$ SP5 -2	0,0026	0,0048	0,5426	0,5875	
$\Delta$ SP5 -3	-0,0014	0,0045	-0,3035	0,7616	
$\Delta$ SP5 -4	-0,0006	0,0043	-0,1362	0,8917	
$\Delta$ WTI -1	-0,0707	0,0412	-1,719	0,0858	* <sup>11</sup>
$\Delta$ WTI -2	-0,0199	0,0264	-0,7562	0,4496	
$\Delta$ WTI -3	0,0374	0,0288	1,296	0,1951	
$\Delta$ WTI -4	0,0313	0,0339	0,9237	0,3557	
REU	0,1117	0,1175	0,9509	0,3417	
Media de la vble. dep.		-0,0034	D.T. de vble. dep.		1,6644
Suma de cuad. residuos		8200,661	D.T. de la regresión		1,6542
R-cuadrado		0,0178	R-cuadrado corregido		0,0122
F (17, 2997)		0,9503	Valor p (de F)		0,5132
rho		0,0025	Durbin-Watson		1,9948
Contrastes F de restricciones cero:					
Todos los retardos de $\Delta$ VIX		F(4, 2997) = 0,1248			0,9763
Todos los retardos de $\Delta$ FFR		F(4, 2997) = 0,4134			0,7991
Todos los retardos de $\Delta$ SP5		F(4, 2997) = 0,7812			0,5373
Todos los retardos de $\Delta$ WTI		F(4, 2997) = 1,7488			0,1365

*Fuente: propia elaboración empleando el software Gretl*

<sup>11</sup> \* significa que la variable es significativa al 10%, \*\* significa que la variable es significativa al 5%,  
\*\*\* significa que la variable es significativa al 1%