



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales - ICADE

ÍNDICES DE VOLATILIDAD COMO MEDIDA DEL IMPACTO DE LA COVID-19 EN EL PERFORMANCE FINANCIERO

Clave: 201606406

RESUMEN

La COVID-19 ha traído consigo mucha incertidumbre a todos los ámbitos de la sociedad, y los mercados financieros no han sido una excepción. Durante los meses de febrero y marzo de 2020, las bolsas mundiales se estremecieron ante el impacto de la enfermedad. Para analizar el efecto que la COVID-19 ha tenido en el performance financiero, nos hemos centrado en la evolución de los índices de volatilidad implícita más importantes de Estados Unidos, Europa y España, y en sus índices bursátiles subyacentes. También hemos comprobado en el presente trabajo la capacidad de estos índices de volatilidad para predecir los valores futuros de sus índices subyacentes. Lo hemos hecho por medio de una regresión lineal, y comparando los resultados con los de los modelos que típicamente se utilizan para estimar series financieras.

PALABRAS CLAVE: Volatilidad financiera, VIX, VSTOXX, VIBEX, COVID-19, modelo GARCH, regresión lineal.

ABSTRACT

COVID-19 has brought a lot of uncertainty to many areas of society, and financial markets have been no exception. During February and March 2020, global stock markets shook under the impact of the disease. To analyze the effect that COVID-19 has had on financial performance, we have focused on the evolution of the most representative volatility indices of the United States, Europe and Spain, and their underlying indices. We have also tested the ability of these implied volatility indices to predict future values of the underlying indices. We have used a linear regression to do so, and we have compared the results with the ones from models that are typically used to estimate financial series.

KEYWORDS: Financial volatility, VIX, VSTOXX, VIBEX, COVID-19, GARCH model, linear regression.

ÍNDICE

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN | 4 |
| 1.1. | Objetivos | 4 |
| 1.2. | Metodología y datos | 5 |
| 1.3. | Estado de la cuestión | 7 |
| 1.4. | Estructura del trabajo | 7 |
| 2. | ÍNDICES DE VOLATILIDAD | 9 |
| 2.1. | VIX | 9 |
| 2.1.1. | <i>Origen</i> | 9 |
| 2.1.2. | <i>Cálculo</i> | 10 |
| 2.1.3. | <i>Interpretación</i> | 11 |
| 2.2. | VSTOXX | 13 |
| 2.3. | VIBEX | 14 |
| 3. | EL EFECTO DE LA COVID-19 EN LOS ÍNDICES DE VOLATILIDAD | 15 |
| 3.1. | VIX | 16 |
| 3.1.1. | <i>Primera ola de la enfermedad</i> | 16 |
| 3.1.2. | <i>Segunda ola</i> | 19 |
| 3.1.3. | <i>Tercera ola</i> | 20 |
| 3.2. | VSTOXX | 21 |
| 3.3. | VIBEX | 23 |
| 4. | EFFECTOS TRASLADADOS A LOS ÍNDICES BURSÁTILES SUBYACENTES | 26 |
| 4.1. | S&P 500 | 26 |
| 4.2. | EURO STOXX 50 | 27 |
| 4.3. | IBEX 35 | 29 |
| 5. | ÍNDICES DE VOLATILIDAD COMO PREDICTORES DE ÍNDICES BURSÁTILES SUBYACENTES..... | 32 |
| 5.1. | VIX y S&P 500 | 32 |
| 5.2. | VSTOXX y EURO STOXX 50 | 37 |
| 5.3. | VIBEX e IBEX 35 | 39 |
| 6. | CONCLUSIONES | 43 |

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos

El presente trabajo de investigación se centra en analizar los principales efectos que la crisis originada por la COVID-19 ha tenido en los mercados financieros. Para interpretar estos efectos, hemos focalizado nuestro estudio en tres índices de volatilidad implícita: el VIX, el VSTOXX y el VIBEX. Estos son los índices de volatilidad de referencia del mercado americano, europeo y español, debido a que se calculan en base a las opciones del S&P 500, del EURO STOXX 50 y del IBEX 35, respectivamente.

La globalización de los mercados financieros por medio de su desregularización y del aumento de la libertad de movimiento de capitales a nivel internacional, incrementa la volatilidad de los mercados, por lo que los inversores se ven obligados a buscar nuevos instrumentos financieros para protegerse. En este contexto resultan muy útiles los índices de volatilidad, ya que ayudan a cuantificar la volatilidad implícita del mercado, que es diferente de la volatilidad histórica. La volatilidad histórica determina la varianza que han tenido los datos históricos del propio índice subyacente, por lo que se trata de volatilidad pasada; mientras que la volatilidad implícita se calcula en base a las opciones del índice subyacente, lo que permite conocer cual es la volatilidad que se espera para ese índice, o lo que es lo mismo, la volatilidad futura. La volatilidad implícita es, por tanto, una métrica adelantada, lo que la hace más apropiada en situaciones de estados de naturaleza cambiantes como los vividos desde la crisis de la COVID-19. Especialmente en los meses de febrero y marzo de 2020, cuando se produjo un incremento de la volatilidad implícita y un desplome generalizado en las bolsas, tal y como se aprecia en el área “Mercado Financiero” del portal 360 Smart Vision¹.

Un segundo objetivo de este trabajo de investigación es el de valorar si estos índices de volatilidad implícita pueden ser usados para predecir los valores futuros de sus índices subyacentes. En situaciones de crisis, como la que estamos viviendo en el momento de

¹ El portal 360 Smart Vision es una iniciativa conjunta de Deloitte y la Universidad Pontificia de Comillas que proporciona una serie de indicadores en tiempo real que reflejan la realidad socioeconómica de España, con especial atención a los efectos de la COVID-19. Se puede visitar en <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/strategy/articles/360-smart-vision.html>

redacción de este trabajo, las expectativas que tenemos del futuro influyen más en los movimientos de los mercados financieros que lo que ha ocurrido en el pasado; de ahí que nos planteemos la opción de que los índices de volatilidad implícita ayuden a anticiparse a los movimientos de los índices bursátiles que toman por referencia. Predecir con exactitud el valor de índices bursátiles es una tarea muy complicada debido a la multitud de variables de las que dependen, y no es la finalidad que aquí se pretende. Simplemente nos limitaremos a introducir esta posibilidad en sus términos más básicos, y compararla con los modelos que típicamente se utilizan para predecir series financieras con el fin de determinar su aptitud y ver su utilidad real.

1.2. Metodología y datos

La metodología empleada para lograr el primero de los objetivos ha consistido en realizar un análisis descriptivo de la evolución de los índices de volatilidad implícita desde que apareció la COVID-19. Por medio de resúmenes estadísticos y de gráficas se detallan las consecuencias que las distintas fases u olas de la enfermedad han tenido en los índices de volatilidad. Pero como un análisis del performance financiero no se puede limitar al comportamiento de los índices de volatilidad, también hemos ilustrado los movimientos de los índices bursátiles subyacentes, que al fin y al cabo son los índices de referencia del mercado y, en consecuencia, de su rendimiento. De igual forma, se estudian los diferentes comportamientos que han tenido cada uno de ellos desde el comienzo de la pandemia.

Para el segundo objetivo, también hemos seguido una metodología muy concreta. Primero, hemos elaborado unas predicciones del cambio diario del valor de cierre por medio de un modelo GARCH (1,1). Hemos elegido este modelo porque permite trabajar con series en las que la varianza no es constante en el tiempo, una característica típica de los activos financieros, especialmente tras episodios como la COVID-19. Sumando 1 a las predicciones del cambio diario, y multiplicando el resultado por el valor de cierre del día anterior, obtenemos las estimaciones para el valor de cierre. Para desarrollar este primer modelo, los datos empleados han sido los del valor de cierre de los distintos índices bursátiles subyacentes – S&P 500, EURO STOXX 50 e IBEX 35 – desde el 30 de diciembre de 1999 hasta el 24 de febrero de 2021. Con los valores de cierre de toda la

muestra hemos calculado la variación diaria² de todo el periodo, y ese conjunto de datos es con el que se ha entrenado el modelo.

En segundo lugar, hemos empleado una regresión lineal simple entre los valores de los índices de volatilidad de un día y los valores al cierre de los índices bursátiles subyacentes del día siguiente. Para entrenar la regresión lineal hemos usado el periodo de los 40 días anteriores al momento previo al que se quiere realizar la primera predicción, lo que supone unos dos meses aproximadamente. Por lo tanto, la muestra de datos utilizada de los índices de volatilidad – VIX, VSTOXX y VIBEX – ha sido la del periodo entre el 23 de diciembre de 2020 y el 23 de febrero de 2021, y la de los índices subyacentes – S&P 500, EURO STOXX 50 e IBEX 35 – entre el 24 de diciembre de 2020 y el 24 de febrero de 2021.

Con esa regresión lineal hemos elaborado unas nuevas predicciones para los 10 días siguientes, que posteriormente hemos comparado, por medio de tablas, gráficas y medidas de comparación de errores (MAE, RMSE y MAPE), con los datos reales y con las estimaciones que previamente habíamos hecho con el modelo GARCH.

Todos los datos sobre los índices de volatilidad implícita – VIX, VSTOXX y VIBEX – y los índices bursátiles subyacentes – S&P 500, EURO STOXX 50 e IBEX 35 – que se han usado han sido extraídos de Bloomberg Terminal, con el fin de dotar de la mayor rigurosidad posible a este trabajo. El modelo GARCH y la regresión lineal simple han sido desarrollados en RStudio, que se trata de una interfaz o entorno gráfico que permite trabajar con el lenguaje de programación R. Para la elaboración de los gráficos y de los resúmenes estadísticos nos hemos servido tanto del propio RStudio como de Microsoft Excel.

² La variación diaria o cambio diario del valor de cierre de los índices bursátiles se usa a lo largo del trabajo como sustituto de las rentabilidades diarias de estos índices. Para su cálculo, hemos empleado la siguiente fórmula:
$$\text{Cambio diario}_t = \frac{\text{Valor de cierre}_t - \text{Valor de cierre}_{t-1}}{\text{Valor de cierre}_{t-1}}$$

1.3. Estado de la cuestión

Las consecuencias económicas de la crisis causada por la COVID-19 han sido objeto de todo tipo de estudios e informes. Uno de los primeros en publicarse fue la compilación “*Economics in the time of COVID-19: A new eBook*”, editada por Baldwin y di Mauro (2020), que se publicó el 6 de marzo de 2020, antes de que se conociese la verdadera magnitud que la pandemia iba a tener. Centrándonos en el tema que nos ocupa en este trabajo, se han realizado análisis que miden el impacto que los primeros casos de COVID-19 tenían en el VIX y en la volatilidad del mercado financiero de Estados Unidos (Albulescu, 2020). En este trabajo también estudiamos los mercados europeo y español, lo que ofrece una visión más globalizada de las implicaciones de la COVID-19.

Respecto a la posibilidad de utilizar los índices de volatilidad implícita para predecir el los valores futuros de los subyacentes, esta cuestión había sido tratada de forma parecida, pero distinta, en algunos informes en los que se explica cómo deben interpretarse los índices de volatilidad implícita y si realmente predicen la volatilidad futura (Edwards y Preston, 2017). Otros trabajos relativos a los índices de volatilidad resaltan su valor para proteger a los inversores en momentos de inestabilidad de los mercados, pero enfocándolo desde las posibilidades de inversión que ofrecen los productos financieros derivados del VIX y el VSTOXX, si es que tienes en tu cartera acciones que se incluyen en el S&P 500 o el EURO STOXX 50 (Stanescu y Tunaru, 2013). Por lo tanto, el interés de esta parte del trabajo es el enfoque innovador sobre la capacidad de los índices de volatilidad de anticiparse a los movimientos de los índices bursátiles subyacentes del día siguiente.

1.4. Estructura del trabajo

En este trabajo de investigación hemos seguido una estructura sistemática, consistente en dividir cada capítulo en tres apartados, dedicando siempre el primero de ellos al mercado de Estados Unidos (VIX y S&P 500), el segundo al mercado financiero europeo (VSTOXX y EURO STOXX 50) y el tercer apartado al mercado español (VIBEX e IBEX 35).

El capítulo 2 de este trabajo tiene por objeto realizar una breve introducción sobre qué son los índices de volatilidad, centrándonos en los tres que vamos a usar a lo largo del trabajo. Para ello, hacemos referencia a diversos aspectos como su origen, su método de

cálculo, su utilidad o su interpretación. El tercer y cuarto capítulo pretenden dar respuesta al primero de los objetivos de este trabajo. El tercero está dedicado a explicar los movimientos de los índices de volatilidad durante las distintas olas de la enfermedad, y a comparar su comportamiento global durante la pandemia con el que habían registrado los años previos. El cuarto, por su parte, se centra en el impacto de la COVID-19 en los índices bursátiles subyacentes, y compara cómo ha sido la recuperación de los mercados financieros norteamericano, europeo y español. En el capítulo 5 se detalla cómo se han elaborado el modelo GARCH (1,1) y la regresión lineal, y se muestran los resultados de las predicciones para los tres índices bursátiles, cubriendo así el segundo objetivo de este estudio. En el último capítulo, el sexto, se exponen las conclusiones a las que se llegan, agrupándolas en dos grandes bloques, en función de si responden al primer o al segundo objetivo de este trabajo de investigación.

En la Bibliografía se incluyen los distintos trabajos e informes que han sido utilizados como referencia y que se han ido mencionando a lo largo de este estudio. En el Anexo se incluye el código de RStudio que se ha empleado tanto para la creación de distintos gráficos y tablas, como para la elaboración del modelo GARCH (1,1) y de la regresión lineal simple.

2. ÍNDICES DE VOLATILIDAD

2.1. VIX

2.1.1. Origen

El índice VIX es el ticker con el que se hace referencia al índice de volatilidad del mercado desarrollado por la CBOE (Chicago Board Options Exchange), una bolsa ubicada en Chicago donde se comercializan opciones de distintos instrumentos financieros. El VIX fue introducido en 1993, con los propósitos, siguiendo a su creador Robert E. Whaley (2009), de ofrecer un marcador sobre la volatilidad esperada en el mercado en el corto plazo y de servir como índice de referencia en determinados contratos de futuros y opciones.

Originariamente, se basaba en el precio de las opciones del índice S&P 100 (OEX), que en el año anterior a su creación, 1992, representaban tres cuartas partes del volumen de opciones que se negociaban en Estados Unidos. La elección de este índice bursátil como subyacente y no otro, radica en que cualquier índice de volatilidad cuyo objetivo sea ser representativo del mercado, debe fundarse sobre contratos de opciones que sean muy activos en el mismo. Sin embargo, diez años más tarde, en 2003, el índice de referencia para el VIX pasó a ser el S&P 500 (SPX), debido a que se había consolidado como el índice cuyas opciones eran negociadas en mayor volumen, y por consiguiente, en la referencia de la renta variable en el mercado norteamericano.

Otra característica del VIX en su inicio, fue que se calculaba en base a ocho opciones call y put at-the-money³ (ATM). Las opciones at-the-money eran las que tenían un mayor volumen de negociación de las que estaban disponibles en ese momento, lo que permitía la actualización constante y precisa del índice. Pero, también en 2003, al mismo tiempo que se cambió el índice subyacente de referencia, el CBOE modificó la metodología de cálculo, de forma que no se tenían en cuenta solo opciones at-the-money, sino también

³ Las opciones at-the-money son aquellas cuyo precio de ejercicio, es decir, el precio que el propietario debe pagar para ejercer su derecho de compra (opciones call) o venta (opciones put), coincide con el precio de mercado del subyacente, en este caso, el S&P 100, y a partir de 2003, el S&P 500.

opciones out-of-the-money⁴. Este cambio respondió principalmente a la importancia adquirida por este tipo de opciones, y a que la inclusión de las mismas permitía que el VIX fuese menos sensible a los precios de una sola opción, y por lo tanto, más fiable.

Hemos de remarcar aquí, que el VIX mide la volatilidad ponderada de las opciones del S&P 500 (antiguamente del S&P 100) a 30 días naturales, por lo que se trata de la volatilidad futura que cabe esperar en la cotización del S&P 500 en el momento actual, y no un índice que represente la volatilidad pasada. Es por esto que popularmente se le conoce como el “índice del miedo”, ya que ofrece una perspectiva del sentimiento de los inversores en el futuro a corto plazo.

2.1.2. Cálculo

La metodología de cálculo del VIX es ciertamente compleja, y su explicación no constituye el objeto de este trabajo, pero vamos a exponerla de forma resumida para poder entenderlo mejor (para una explicación detallada de la metodología antigua véase Giner Rubio, J. y Morini Marrero, S., 2004; y para la metodología empleada a partir de 2003 véase Osterrieder, J., Röschli, K., y Vetter, L., 2019 y CBOE, 2009).

El VIX determina la volatilidad esperada del índice S&P 500 a 30 días, por lo que para su cálculo, se emplean, por un lado, opciones put y call que venzan entre los próximos 23 y 30 días (“near-term” o término cercano), y por otro, opciones cuyo vencimiento se sitúe entre los próximos 31 y 37 días (“next-term” o término siguiente). Para el cálculo, además, se incluyen tanto opciones estándar del SPX (cuyo vencimiento es el tercer viernes de cada mes) como opciones semanales del SPX (que vencen cada viernes, excepto el tercero de cada mes).

De manera muy simplificada, lo que se hace es buscar el precio de ejecución medio de cada una de estas opciones, a partir de la diferencia más pequeña existente entre el precio de las opciones call y el precio de las opciones put, por separado para cada uno de los términos (cercano y siguiente). Ese precio de ejecución es el que se usa para calcular la

⁴Las opciones out-of-the-money son aquellas que todavía no han llegado a su precio de ejercicio, bien porque el precio de mercado del índice subyacente es mayor al de la opción (opción put), o bien porque el precio del subyacente es inferior al de la opción (opción call).

volatilidad implícita de las opciones que integran el índice, y, una vez determinada esta varianza implícita, se calcula la volatilidad prevista para las opciones del término cercano y para las opciones del término siguiente. Por último, se procede a ponderar las volatilidades de ambos términos, de forma que se obtiene la volatilidad esperada a 30 días vista.

2.1.3. Interpretación

Al contrario que su cálculo, la interpretación del VIX es relativamente sencilla. Para explicar cómo debe interpretarse el VIX de una manera rápida y sencilla, vamos a seguir las indicaciones del propio Robert E. Whaley (2009), apoyándonos en la Figura 1.

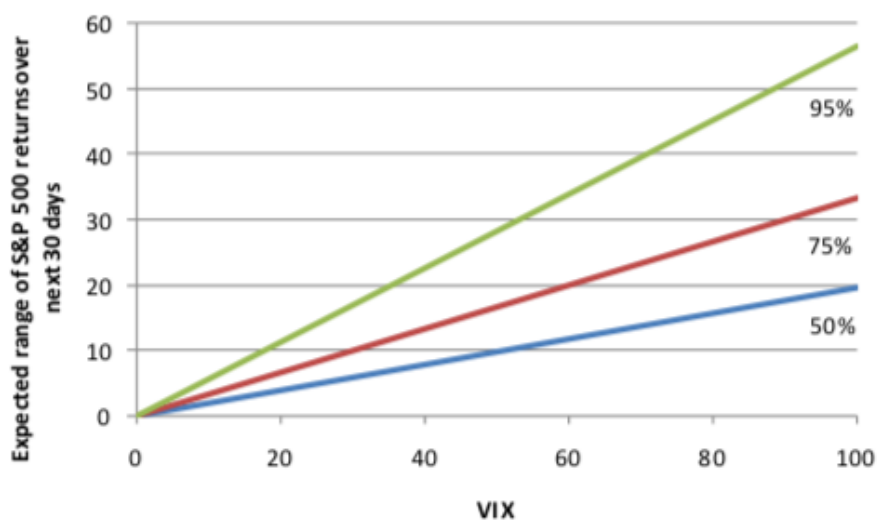


Figura 1. Relación entre el valor del VIX y el rango esperado de rentabilidad del S&P 500 durante los siguientes 30 días. Fuente del gráfico: Whaley, R. E. (2009). *Understanding the VIX*. *Journal of Portfolio Management*.

Imaginemos que el VIX, representado en el eje X, actualmente tiene un valor de 40. Si dibujásemos una línea vertical encima del 40 en la Figura 1, veríamos como corta las líneas azul, roja y verde en distintos niveles. Centrándonos en el punto de corte la línea azul, que representa un intervalo de confianza del 50%, vemos que un VIX de nivel 40 conllevaría un cambio en el rango esperado de la rentabilidad del S&P 500 de, como mucho, un 7,79% en los próximos 30 días. Esto significa que, para un VIX de 40, hay un 50% de posibilidades de que la rentabilidad del índice S&P 500 bien aumente un máximo de 7,79%, o bien disminuya un máximo de 7,79%. Este mismo planteamiento puede

extrapolarse a las líneas roja, representativa de un nivel de confianza de un 75%, y verde, que representa una confianza del 95%.

Si el VIX marca un valor de 40, podremos afirmar con una confianza del 75% que el valor del S&P 500 va a subir o bajar dentro de un rango de 13,28% durante los próximos 30 días. Si queremos aumentar la confianza hasta el 95%, vemos como un VIX de 40 indica que el incremento o descenso de la rentabilidad de las acciones del S&P 500 será en un rango de 22,63% durante los 30 días siguientes. Resulta lógico que, cuanto mayor es el intervalo de confianza que elijamos, mayor es el rango en el que se puede mover el S&P 500, y en consecuencia mayor es la pendiente de la recta. Así, la línea azul (50%) tiene una pendiente de 0,1947, la línea roja (75%) tiene una pendiente de 0,3321 y la línea verde (95%) tiene una pendiente de 0,5658.

Como hemos visto, la interpretación del VIX tan solo nos proporciona un rango en el que el S&P 500 se puede mover, sin determinar si efectivamente va a subir o bajar. No obstante, como el VIX es un indicador de la volatilidad futura del mercado, cuando se sitúa en valores altos, significa que existe una mayor incertidumbre y riesgo (el rango en el que se puede mover el S&P 500 es mayor), por lo que aumenta el miedo de los inversores y suele asociarse a mercados de tendencia bajista. Esto, a su vez, provoca un aumento de la adquisición de opciones put por parte de los inversores, que tratan de proteger su posición ante la expectativa de que el mercado caiga. Por el contrario, el VIX es pequeño en situaciones de estabilidad y tranquilidad, que llevan aparejadas consigo una menor incertidumbre (menor rango en el que se puede mover el S&P 500), y se asocian con tendencias ligeramente alcistas sostenidas en el tiempo.

Habitualmente, se dice que el VIX está en valores normales cuando se encuentra entre los 20 y 30 puntos. Los niveles bajos o de tranquilidad se dan por debajo de los 20 puntos, mientras que por encima de los 30 estaríamos hablando de incertidumbre y nerviosismo en el mercado (Cordero, E., 2015). Como ejemplo, el valor medio del VIX entre enero de 1990 y marzo de 2020 ha sido de 19,4, es decir, la volatilidad media esperada ha sido de un 19,4%. Esto puede interpretarse como que la rentabilidad del mercado ha variado en media un 19,4% en torno a su rentabilidad promedio (Rubio, G., y García Coto, D., 2020).

2.2. VSTOXX

El VSTOXX es un tipo de VIX a nivel europeo, ya que se trata de otro índice de volatilidad, con la particularidad de que no se basa en el S&P 500, sino en el índice EURO STOXX 50 (STOXX50E). Para elaborar esta pequeña introducción sobre el VSTOXX vamos a seguir en todo momento la información incluida en la guía sobre índices del propio STOXX (2021), que fue la empresa que lo lanzó al mercado en 2005.

El VSTOXX mide la variación implícita de todos los contratos de opciones sobre el EURO STOXX 50 a los que resta un determinado tiempo hasta su vencimiento. Aquí decimos un determinado tiempo hasta el vencimiento y no 30 días, porque el VSTOXX no se calcula solo para un plazo como el VIX, sino que se compone de 12 índices principales que miden la volatilidad a 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330 y 360 días. De entre todos estos, nos vamos centrar en el VSTOXX a 30 días a lo largo de todo el trabajo, debido a que nos permite conocer la volatilidad a corto plazo, de la misma manera que hacía el VIX, y permitirá hacer comparaciones entre ambos índices.

El subyacente que emplea es el EURO STOXX 50, porque sus contratos de opciones presentan uno de los mayores volúmenes de comercio del Eurex, que es a su vez el mayor mercado europeo de derivados financieros. Esto permite que la volatilidad del EURO STOXX 50 pueda ser tomada como referencia de la volatilidad del mercado europeo en su conjunto, ya que como vimos con el VIX, para que un índice de volatilidad pueda considerarse representativo debe sustentarse en un índice cuyas opciones tengan altos niveles de intercambio.

La metodología según la cual se calcula el VSTOXX también tiene su nivel de dificultad, y se puede consultar en la guía sobre índices del STOXX anteriormente mencionada. Nos limitamos a destacar que para su cálculo se usan el EONIA⁵, el EURIBOR⁶ y el REX, además del propio EURO STOXX 50 y sus opciones (OESX).

⁵ El EONIA (Euro OverNight Index Average) es el tipo medio al que una selección de bancos europeos se prestan entre sí dinero en euros con un día de vencimiento.

⁶ El EURIBOR (EURO InterBank Offered Rate) que es el tipo de interés de referencia del mercado monetario.

2.3. VIBEX

El VIBEX es el homólogo español al VIX y al VSTOXX. Este índice de volatilidad fue lanzado al mercado por Bolsas y Mercados Españoles (BME) en 2018, años después de que alguno autores como González y Novales (2007), hubiesen sugerido la utilidad de desarrollar un índice de volatilidad implícita para el mercado financiero español. El VIBEX se basa en las opciones del IBEX 35, que es el índice más representativo de la bolsa española. El método con el que se calcula el VIBEX es muy similar al del VIX, ya que como explica BME (2021:1):

(e)ste índice consiste en reflejar la volatilidad implícita de una opción teórica en el dinero (ATM) a la que le quedan exactamente 30 días a vencimiento. Para ello se utilizarán opciones de dos vencimientos distintos, uno de ellos, al que llamaremos Vencimiento Cercano, le quedarán menos de 30 días hasta el vencimiento, mientras que al que llamaremos Vencimiento Lejano le quedarán más de 30 días al vencimiento.

Se calcularán las volatilidades implícitas de las opciones de Vencimiento Cercano y Vencimiento Lejano para obtener las volatilidades a 30 días exactos.

La interpretación del VIBEX es, por consiguiente, muy parecida a la del VIX, lo que significa que cuanto mayor sea el valor del índice, mayor es la volatilidad implícita en las opciones del IBEX 35, y mayor es el nerviosismo y la inseguridad de los inversores en el mercado español. La diferencia del VIBEX respecto a los otros índices que hemos visto, es que su función es simplemente la de aportar información útil a los inversores sobre la volatilidad esperada y el sentimiento del mercado. Tanto el VSTOXX como el VIX también cumplen con esta función, pero, además, se han lanzado productos financieros referenciados a ellos, de forma que podemos negociar con futuros del VSTOXX o con opciones y futuros del VIX (Stanescu y Tunaru, 2013), algo que por el momento no se contempla para el VIBEX.

3. EL EFECTO DE LA COVID-19 EN LOS ÍNDICES DE VOLATILIDAD

Como hemos visto en el apartado anterior, los índices de volatilidad se disparan ante situaciones de nerviosismo y temor en el mercado, mientras que tienden a tomar valores pequeños cuando se prevé una situación de calma en el futuro próximo. Antes de pasar a un análisis particular de cada uno de los índices de volatilidad, vamos a mostrar unos resúmenes estadísticos básicos para poder comparar unos índices con otros, y, sobre todo, para poder observar la evolución del comportamiento de estos índices desde que comenzó la pandemia.

La Tabla 1 recoge el resumen estadístico de los tres índices desde enero de 2007 hasta diciembre de 2020. La fecha de inicio ha sido determinada en enero de 2007 porque aunque BME lanzó el VIBEX en 2018, el índice se calculó para fechas anteriores, siendo esta la primera disponible, por lo que es a partir de entonces que tenemos datos de los tres índices de volatilidad. Esta tabla recoge el comportamiento que han seguido los índices por un periodo de 14 años, previo a la COVID-19, pero marcado por la crisis de 2008.

| | Nº obs. | Mín. | Mediana | Media | Máx. | Var. |
|--------|----------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------|
| VIX | 3272 | 9,14 | 16,59 | 19,26 | 80,86 | 83,69 |
| VSTOXX | 3304 | 10,68 | 21,07 | 23,00 | 87,51 | 82,59 |
| VIBEX | 3314 | 16,94 | 21,48 | 23,13 | 79,24 | 78,48 |

Tabla 1. Resumen estadístico de los índices de volatilidad (enero 2007 – diciembre 2019). Fuente: *Elaboración propia*

La Tabla 2, por su parte, detalla el mismo resumen estadístico para los días transcurridos entre el 1 de enero de 2020 y el 10 de marzo de 2021, en los que los mercados se han visto afectados por la COVID-19.

| | Nº obs. | Mín. | Mediana | Media | Máx. | Var. |
|--------|----------------|-------------|----------------|--------------|-------------|-------------|
| VIX | 299 | 12,10 | 25,85 | 28,47 | 82,69 | 133,84 |
| VSTOXX | 303 | 10,69 | 25,16 | 27,88 | 85,62 | 144,26 |
| VIBEX | 303 | 19,64 | 22,70 | 24,68 | 76,61 | 110,84 |

Tabla 2. Resumen estadístico de los índices de volatilidad (enero 2020 – marzo 2021). Fuente: *Elaboración propia*

Las diferencias entre la etapa previa al coronavirus y la actual son evidentes. Por un lado, la media a partir de 2020 es superior en todos los índices a la del intervalo anterior, aunque esta diferencia no es igual en todos ellos. Mientras que el VIX ha incrementado su media en más de 9 puntos y el VSTOXX la ha subido casi 5, el VIBEX apenas ha aumentado su media en un punto y medio. Las variaciones entre los mínimos y los máximos no son muy significativas, debido a que en ambos periodos se han producido tanto crisis que han llevado los índices a sus máximos, como momentos de tranquilidad y estabilidad que han traído consigo valores bajos (en la etapa de la COVID-19 esta situación se identifica con el mes de enero, cuando los contagios todavía se limitaban a China).

La otra comparación más relevante que se puede realizar entre la Tabla 1 y la Tabla 2 es sobre la varianza, que es una medida de dispersión de los datos respecto de su media. En el segundo periodo, la varianza se dispara en los tres índices, pero especialmente en el VSTOXX, donde supera en más de 60 puntos la varianza de la etapa previa a la COVID-19. Este aumento de la varianza implica que los índices de volatilidad toman valores en un rango más amplio que de costumbre, como consecuencia de los momentos de incertidumbre que hemos vivido durante la pandemia. Este dato de la varianza debe interpretarse, sin embargo, con precaución, puesto que el hecho de que el número de observaciones incluidas en la etapa COVID-19 sea muy inferior (apenas un 10%) al de la anterior, hace que la varianza sea más sensible a los valores extremos.

3.1. VIX

3.1.1. Primera ola de la enfermedad

En la Figura 2 podemos observar la evolución del valor de cierre del VIX entre el 2 de enero de 2020 y el 10 de marzo de 2021. En los primeros meses del 2020, el VIX se encontraba relativamente estable, por debajo de los 20 puntos. Sin embargo, un estudio realizado por Albuлесcu (2020) demuestra que durante el periodo comprendido entre el 20 de enero y el 28 de febrero las cifras de contagios y fallecidos reportadas por la OMS (Organización Mundial de la Salud) tenían un impacto incremental en el VIX. Además, se sacaron algunas conclusiones sobre la importancia del origen de los casos y la gravedad de los mismos. Por un lado, se constató que los casos ocurridos fuera de China tenían un efecto superior en la volatilidad de los mercados financieros que los ocurridos dentro del

país asiático. Por otro lado, se determinó que el ratio de fallecidos a causa de la COVID-19 tenía un mayor impacto en el VIX que el del número de nuevos casos confirmados.

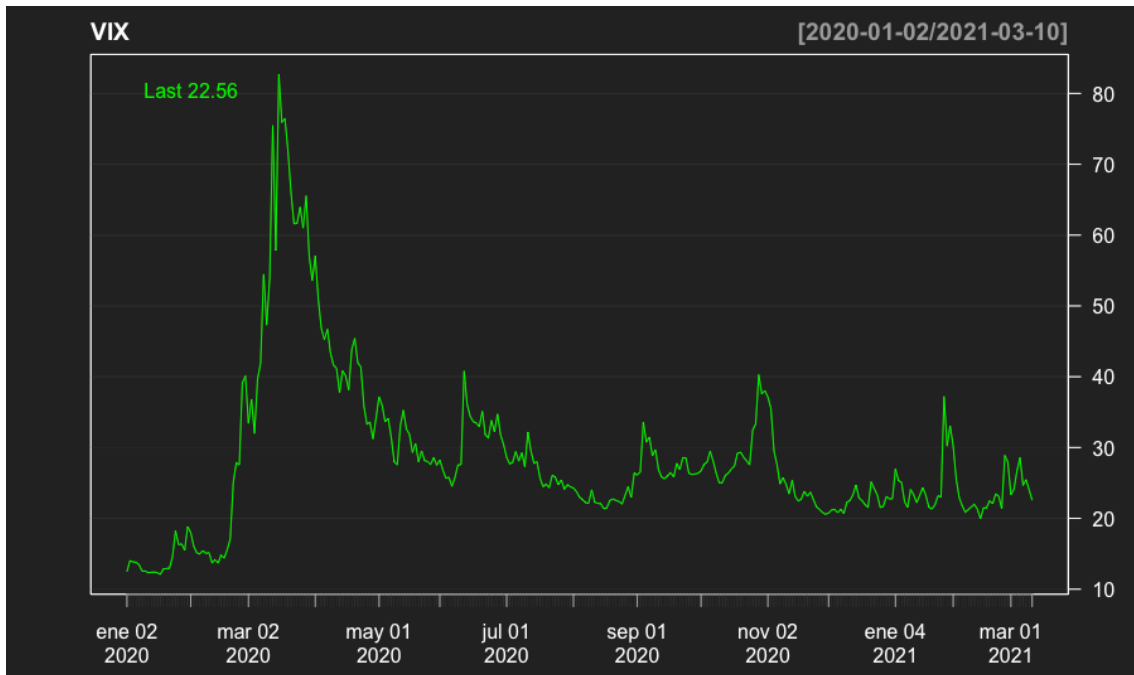


Figura 2. Evolución del VIX, enero 2020 - marzo 2021. Fuente de los datos: Bloomberg. Elaboración propia

Con la expansión del virus en Italia, Irán y Corea del Sur, a finales de febrero el índice alcanzó un valor de 40, pero fue durante las dos primeras semanas de marzo, cuando el índice se disparó, llegando a cerrar el 16 de marzo en 82,69 puntos, o lo que es lo mismo, una volatilidad esperada del 82,69% en el valor de las acciones del S&P 500 durante los 30 días siguientes. Este valor de cierre es el más alto que ha marcado el VIX en su historia, por encima de los 80,86 que marcó el 20 de noviembre de 2008, en pleno estallido de la crisis financiera. En la Figura 3 puede apreciarse la magnitud de la inseguridad que la COVID-19 generó entre los inversores del mercado americano, tan solo equiparable a la de la crisis de 2008.

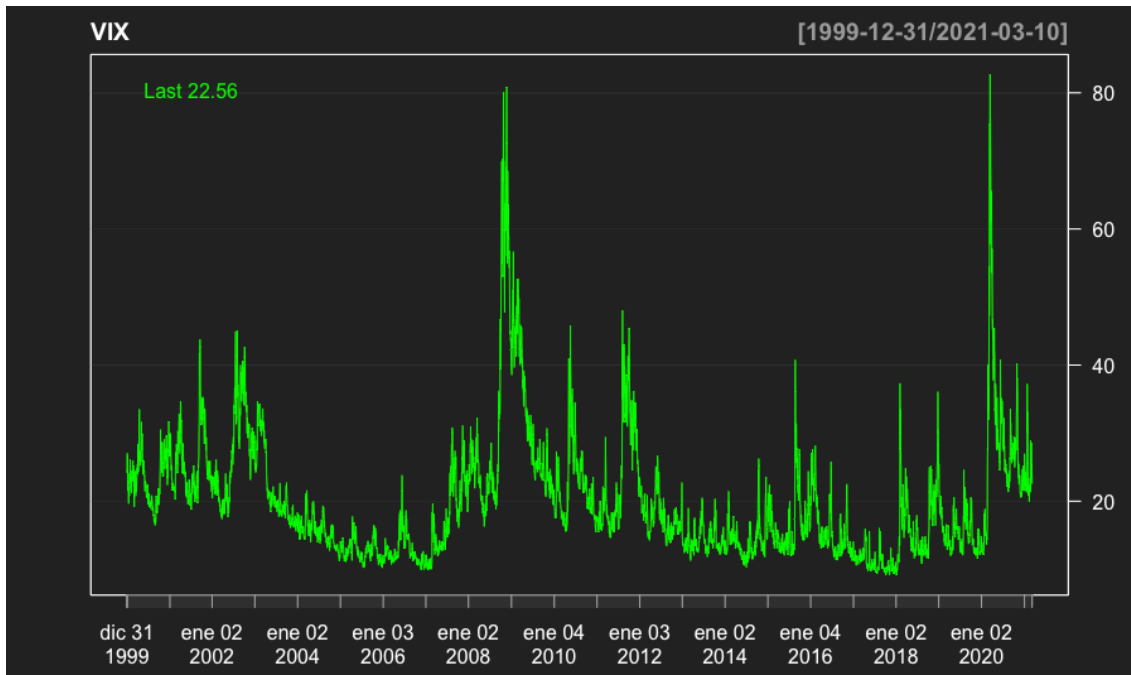


Figura 3. Evolución del VIX, enero 2000 - marzo 2021. Fuente de los datos: Bloomberg. Elaboración propia

En esta primera ola de la enfermedad, el índice era muy sensible a las novedades con respecto a las noticias sanitarias que iban surgiendo, y así, el 12 de marzo, un día después de que la OMS declarase la COVID-19 como una pandemia, el VIX subió 21,5 puntos, desde los 54 hasta los 75,5 aproximadamente. Sin embargo, durante esta primera parte de la primera ola, la reacción en el mercado de los futuros del VIX fue inferior a la del propio VIX, lo que conllevó que las primas de riesgo de los futuros fuesen negativas entre finales de febrero y mediados de abril (Cheng, 2020). Se considera que esta reacción fue insuficiente (la autora lo califica en inglés como “*underreaction*”) porque en condiciones normales, cuando la volatilidad (riesgo) sube, la prima de riesgo lo debe hacer de manera equivalente, pero como podemos observar en la Figura 4, la subida de los futuros del VIX fue menos pronunciada que la del VIX. En los meses de abril y mayo, cuando la situación comenzaba a estabilizarse, se volvió a la normalidad con niveles de prima de riesgo positivos.



Figura 4. Evolución del VIX (verde) y de los Futuros del VIX (blanco), enero 2020 - mayo 2020. Fuente de los datos: Bloomberg. Elaboración propia

Tras haber alcanzado su pico el 16 de marzo, durante la primera parte de la primera ola el VIX mantuvo una tendencia bajista sostenida a medida que se iba recuperando una relativa normalidad, hasta que se estabilizó entre los meses de mayo y octubre, en torno a los 27,87 puntos de promedio en este periodo (ver Figura 2). No obstante, durante esta segunda etapa de la primera ola también hubo algunas subidas importantes, como la del 11 de junio, cuando el VIX subió más de 13 puntos en un solo día, hasta situarse en 40,79. Este incremento de la volatilidad implícita en el mercado americano fue consecuencia del informe divulgado por la Reserva Federal de los Estados Unidos (Fed) el día anterior, en el que alertaba de una perspectiva económica muy incierta a causa de la COVID-19, y estimaba un desplome del 6,5% del PIB del país en 2020. Además, en el informe se preveía el mantenimiento de los tipos de interés al 0% hasta 2022, lo que no hizo sino alimentar las dudas de los inversores.

3.1.2. Segunda ola

A principios de octubre, después de haber atravesado unos meses de cierta calma y de reducción del ratio de contagios durante el verano, se produce una segunda ola de la enfermedad. El aumento de los contagios tanto en países europeos como en algunos estados de Estado Unidos, trajo consigo la amenaza de nuevos cierres y restricciones, que

en ese momento suponían un nuevo golpe a la economía. Ello, sumado a la incertidumbre del resultado electoral a la presidencia de Estados Unidos, provocó un nuevo ascenso del VIX de los 27,55 puntos del 23 de octubre, hasta los 40,28 el 28 de octubre. De esta forma, podemos ver que, si bien muchos de los movimientos que ha experimentado el VIX desde comienzos de 2020 se pueden explicar por determinados eventos relacionados con la COVID-19, existen multitud de factores políticos, económicos y sociales que, en condiciones normales, afectan a la volatilidad esperada en los mercados, y que durante la pandemia han continuado haciéndolo.

3.1.3. Tercera ola

En el momento de redactar este trabajo, nos encontramos sumidos en la tercera ola del coronavirus, cuyo comienzo se sitúa en el mes de enero de 2021. Tras una relajación en el cumplimiento de las medidas sanitarias a raíz de las fiestas de Navidad, y la aparición de nuevas cepas del virus con mayor ratio de contagiosidad, se produjo un rebote de los casos y fallecimientos. Sin embargo, parece que casi un año después de que comenzase la pandemia el mercado ya se hubiese adaptado a las malas noticias sobre contagios y fallecidos, lo que unido al comienzo de la vacunación a nivel mundial, ha permitido que el VIX se mueva entre los 20 y los 30 puntos. En esta tercera ola el único aumento reseñable fue el del 27 de enero, cuando se pasó de los 23,02 puntos del día anterior a los 37,21. Esta subida, por el contrario, no tuvo ningún tipo de relación con la COVID-19, sino que tuvo su causa en la acción conjunta de un grupo de usuarios de la red social Reddit, que se pusieron de acuerdo para elevar la cotización bursátil de empresas como GameStop y ACM, provocando importantes pérdidas en fondos de cobertura (*hedge funds*). Esto generó mucha preocupación entre los inversores, lo que se tradujo en el aumento de la volatilidad en el mercado.

Lo que queda patente tras el análisis de las sucesivas olas de la pandemia es que los eventos negativos tienen un impacto inmediato y más fuerte en el VIX, provocando escaladas vertiginosas en la volatilidad, mientras que el efecto de las noticias positivas, como la aprobación de las distintas vacunas, no es tan directo y es más prolongado en el tiempo, lo que hace que no sean tan fácilmente perceptibles. En otras palabras, los periodos alcistas del VIX tienden a ser cortos y muy pronunciados, en tanto que las tendencias bajistas ocupan más tiempo pero con una menor pendiente.

3.2. VSTOXX

La lectura de la evolución del VSTOXX es muy parecida a la del VIX, puesto que como podemos ver en la Figura 5, ambos índices de volatilidad siguen un patrón prácticamente idéntico. El 16 de marzo, el VSTOXX cerró en 85,62 puntos, lo que suponía el valor más alto desde los 87,51 del 16 de octubre de 2008. El mayor impacto en el VSTOXX que en el VIX en los primeros compases de la pandemia obedece a que la propagación del virus se produjo en Europa antes que en Estados Unidos. Así, cuando el propio 16 marzo, en Italia se anunciaban más de 3000 nuevos casos⁷ o en España se llegaban a los 2000 contagios diarios, en Estados Unidos, con una población mucho mayor, todavía se registraban menos de 1000 nuevos casos diarios. Este mayor número de contagios conllevó la implantación, en varios países europeos, de medidas restrictivas de la movilidad de la población, que perjudicaban el comercio y la economía, lo que elevó la incertidumbre y el miedo de los inversores del mercado europeo.

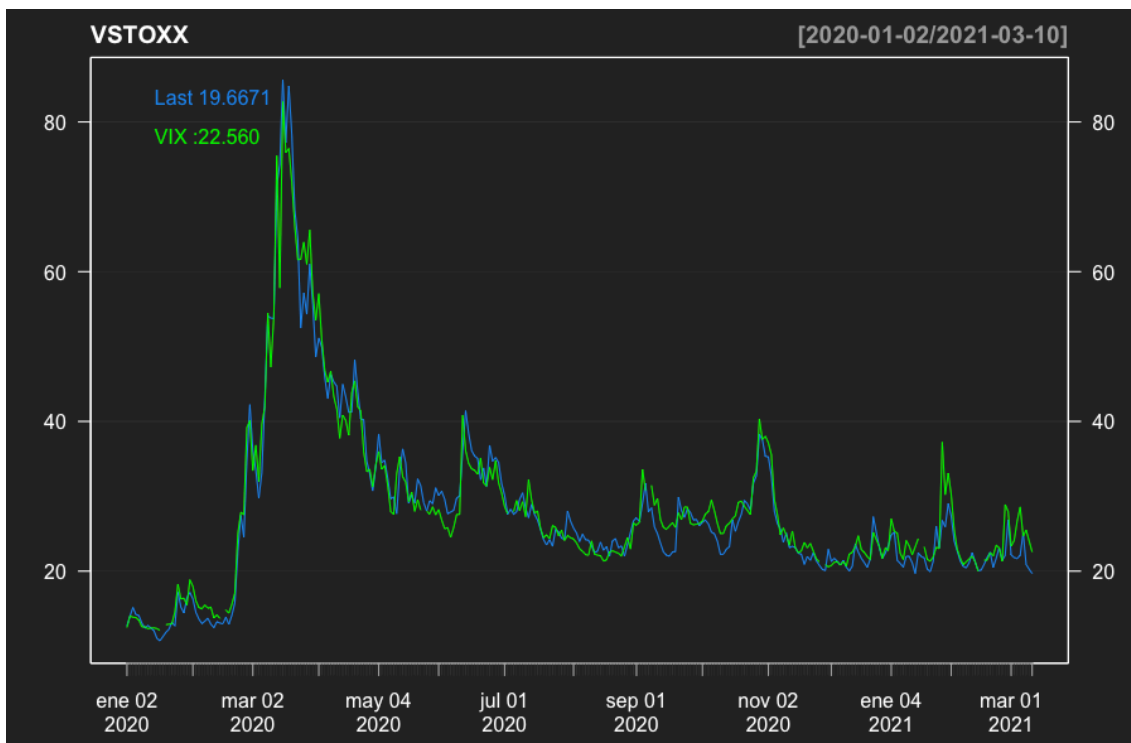


Figura 5. Evolución del VSTOXX (azul) y del VIX (verde), enero 2020 - marzo 2021. Fuente de los datos: Bloomberg. Elaboración propia

⁷ Los datos relacionados con casos y fallecimientos por COVID-19 son los proporcionados por la Universidad Johns Hopkins, recuperados de <https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19>

La bajada después de alcanzar el pico también fue más pronunciada en el VSTOXX, gracias, en parte, a que el 18 de marzo el Banco Central Europeo (BCE) anunció el programa de compras de emergencia pandémica (PEPP, por sus siglas en inglés), lo que contribuyó a mitigar las dudas de los inversores. Es cierto que se trata de dos índices que históricamente se han comportado de forma similar, ya que la correlación entre ambos para el periodo entre febrero del 2000 y marzo de 2021 es de 0,907. Si bien, el VSTOXX suele tomar valores más elevados, como se observa en la Figura 6, en la que la línea azul del VSTOXX se sitúa la mayor parte del tiempo por encima de la línea verde del VIX. Esto se debe a que el mercado financiero europeo, al estar integrado por las economías de distintos países, es más sensible a las variaciones en cada una de ellos, y por lo tanto menos estable que el estadounidense. De ahí que desde febrero del 2000 el VIX ha tomado un valor medio de 19,99, casi 4 puntos por debajo de los 23,79 que ha promediado el VSTOXX en el mismo periodo.

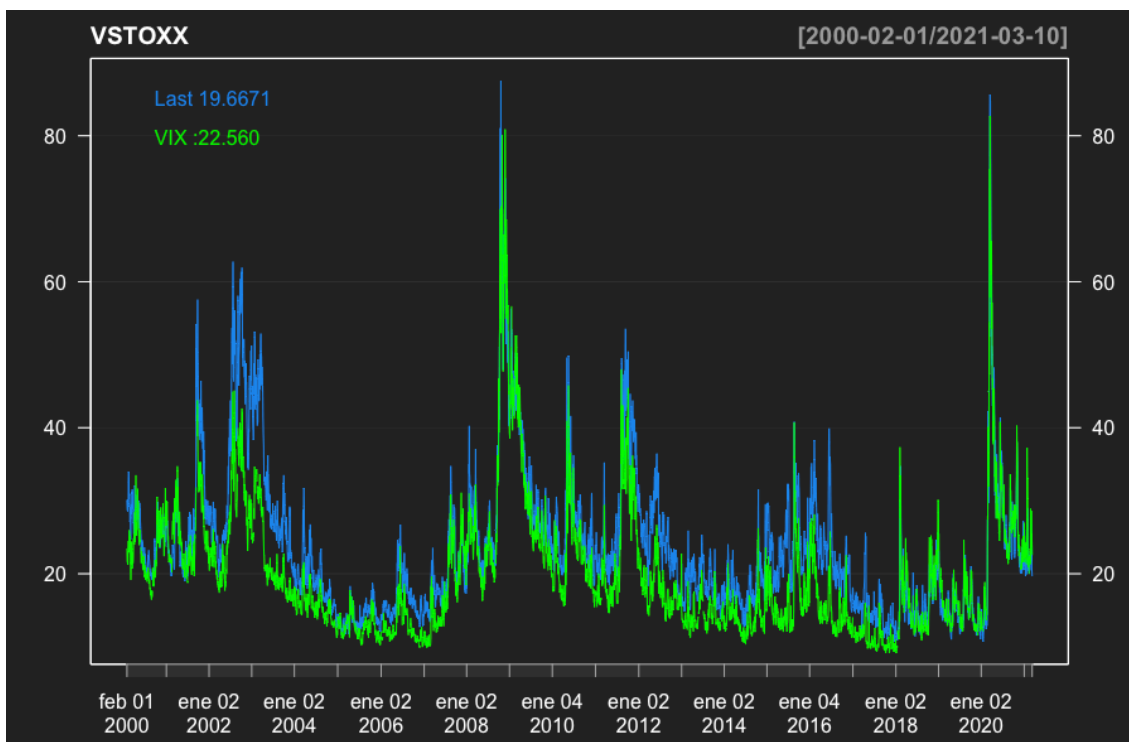


Figura 6. Evolución del VSTOXX (azul) y del VIX (verde), febrero 2000 - marzo 2021. Fuente de los datos: Bloomberg. Elaboración propia

No obstante, la correlación entre ambas series se intensifica cuando se dan situaciones de crisis, así, para el periodo comprendido entre enero de 2020 y marzo de 2021 en el que los mercados se han visto afectados por la COVID-19, la correlación entre los dos índices llega hasta el 0,976. Esto ocurrió también durante el momento más álgido de la crisis de

2008, siendo la correlación de 0,978 entre enero de 2008 y diciembre de 2009. Este aumento de la correlación entre los índices de volatilidad en momentos de crisis se debe al conocido como “efecto contagio” de los mercados financieros. Este efecto contagio puede definirse como el aumento significativo de la interdependencia entre mercados, después de que se produzca un shock o crisis en un país (Forbes, K. y Rigobon, R., 2001), lo que provoca que los efectos de un evento que acontece en un mercado, repercutan rápidamente en otros mercados. La actuación de los inversores ante señales de peligro es, junto con el comercio y el precio de los bienes, uno de los fenómenos que llevan a este efecto contagio (González, S. y Mascareñas, J., 1999); con la particularidad de que es el que menos tiempo tarda en surtir efectos en los otros mercados, y estos son de mayor intensidad.

Sin embargo, este efecto contagio no se da siempre a la misma escala entre ambos índices, lo que provoca que la correlación nunca vaya a ser igual a 1. Así, por ejemplo, en la Figura 5 se aprecia que el impacto de la acción de los usuarios de Reddit en la bolsa americana fue mayor en el VIX que en el VSTOXX. En Europa, el incremento en el VSTOXX se produjo por el temor de los inversores a que ocurriese lo mismo que en Estados Unidos, pero como este temor no se materializó en acciones concretas, el efecto fue más atenuado que en el mercado norteamericano.

3.3. VIBEX

El VIBEX se creó en 2018, pero fue calculado usando la misma metodología a partir de 2007, para poder disponer de un serie histórica más larga que permita realizar mejores análisis. La Figura 7 permite una primera comparación entre los datos del VIBEX y el VIX para todo este periodo. Entre 2007 y 2010 ambos índices siguen una tendencia muy parecida, pero a partir de entonces, el VIBEX se sostiene por encima del VIX, como consecuencia de la lenta recuperación de la crisis del 2008 en España en comparación con Estados Unidos. En junio de 2012, el anuncio del rescate a ciertos bancos y entidades financieras en España causa una fuerte subida del VIBEX que no se ve replicada en el VIX, lo que provoca que sea en ese momento cuando ambos índices se encuentran más alejados, guardando una distancia de más de 20 puntos. Durante los siguientes años, y hasta el 2018, el VIBEX se mantuvo por encima del VIX de manera sistemática.

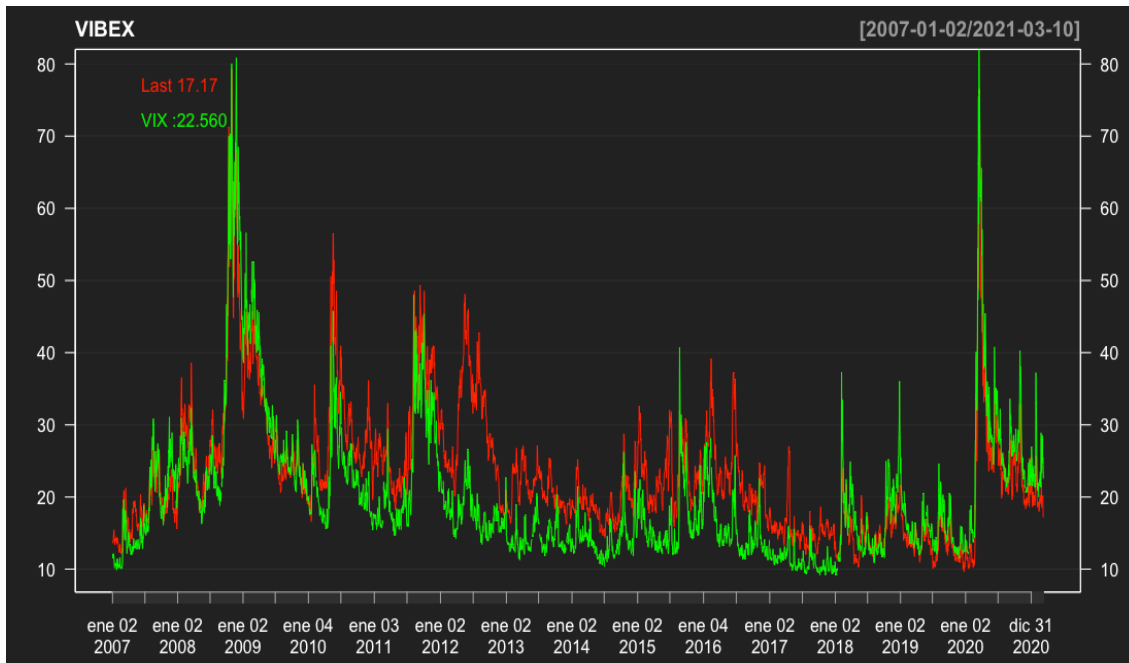


Figura 7. Evolución del VIBEX (rojo) y del VIX (verde), enero 2007 - marzo 2021. Fuente de los datos: Bloomberg. Elaboración propia

Sin embargo, en la Figura 8 podemos comprobar que, al contrario de lo que venía sucediendo, durante la pandemia el VIBEX se ha mantenido por debajo del VIX prácticamente en todo momento. Esto queda reflejado también en las Tablas 1 y 2, que muestran como con carácter previo a la COVID-19, el VIBEX había tenido un valor medio superior en casi 4 puntos respecto al VIX; mientras que, en la etapa marcada por la enfermedad, se han cambiado los papeles y es el VIX el que ostenta un valor medio superior al VIBEX en casi 4 puntos. Esto se puede interpretar como que el miedo de los inversores en Estados Unidos ha sido mayor que en España desde que comenzó el 2020. El efecto contagio entre el mercado estadounidense y el español también se ha intensificado, ya que la correlación entre ambas series se ha disparado del 0,822 que había tenido para el periodo entre 2007 y 2020, hasta el 0,971 partir de enero de 2020.

En la primera ola de la enfermedad también se produjo una fuerte subida, motivada principalmente por el anuncio del Gobierno de decretar el estado de alarma a partir del 14 de marzo; pero esta fue menos significativa que la del VIX y el VSTOXX, pues no se superaron los 80 puntos al cierre ningún día. La bajada fue más vertiginosa gracias al anuncio de los PEPP por parte del BCE anteriormente comentados. A pesar del aumento de la correlación, se manifiesta que durante la segunda y tercera ola, los eventos que provocaron importantes subidas en el VIX tuvieron efectos más moderados en el VIBEX.

Así, desde el mes de diciembre el VIBEX se ha mantenido alrededor de los 20 puntos, lo cual es un síntoma de una cierta recuperación de la confianza y expectativas de estabilidad de los inversores en el mercado español.

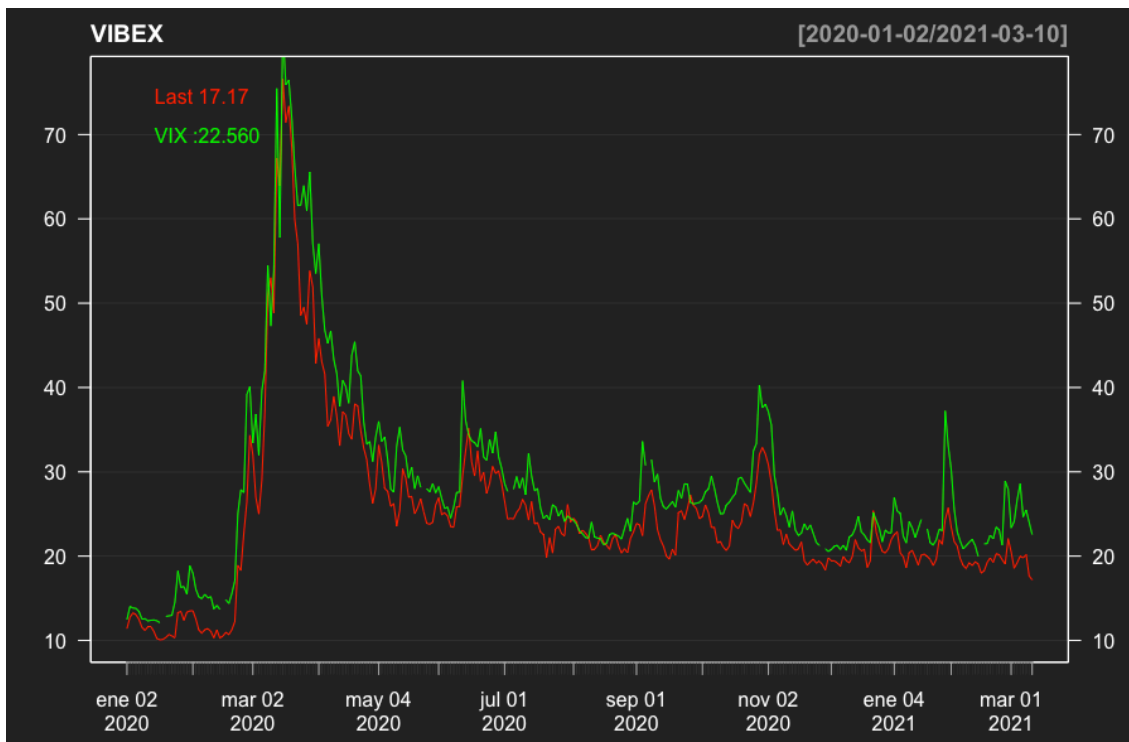


Figura 8. Evolución del VIBEX (rojo) y del VIX (verde), enero 2020 - marzo 2021. Fuente de los datos: Bloomberg. Elaboración propia

4. EFECTOS TRASLADADOS A LOS ÍNDICES BURSÁTILES SUBYACENTES

4.1. S&P 500

El S&P 500 es como comúnmente se conoce al índice Standard and Poor's 500, ya que es esta empresa, Standard and Poor's, quien se encarga de elaborarlo. El índice mide la valoración de las 500 compañías más importantes en términos de capitalización bursátil que negocian sus acciones en la Bolsa de Nueva York y en la Bolsa de Valores Nasdaq, que son las dos principales bolsas de Estados Unidos. Este índice está ponderado por capitalización, lo que significa que el peso de cada una de la compañías es proporcional a su tamaño de capitalización. Además, se incluyen empresas de diversos sectores, de forma que todos los sectores clave del país se encuentran representados. Actualmente, las empresas más importantes que lo componen son de carácter tecnológico (Microsoft, Apple, Amazon...), pero entre las diez primeras posiciones encontramos también entidades financieras como JP Morgan Chase, compañías farmacéuticas como Johnson & Johnson, o retailers como Walmart. Todas estas características hacen del S&P 500, junto con el Dow Jones Industrial Average, uno de los índices más representativos del mercado financiero de Estados Unidos, y de su economía en general, lo que determina su idoneidad para que sus opciones sean usadas como subyacente de un índice de volatilidad.

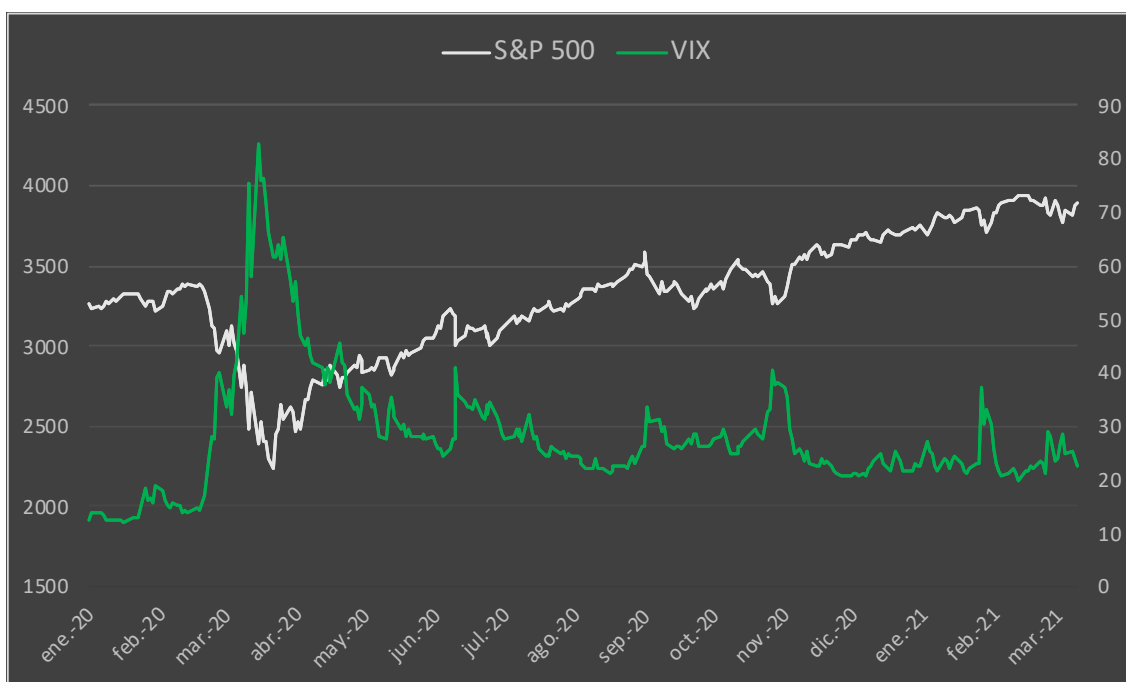


Figura 9. Evolución del S&P 500 (blanco) y del VIX (verde), enero 2020 - marzo 2021. Fuente de los datos: Bloomberg. Elaboración propia

Como veníamos apuntando en el segundo apartado de este trabajo, el VIX y su subyacente, el S&P 500, tienen una relación inversa. Así, cuando el VIX sube, la cotización del S&P 500 baja, mientras que cuando el VIX se encuentra estable o en descenso, se mantiene una tendencia alcista sostenida en el S&P 500. Esta relación inversa es perceptible a simple vista (ver Figura 9) y se acentúa en épocas de crisis. A lo largo de todo el siglo XXI, el VIX y el S&P 500 han mantenido una correlación negativa de -0,248, pero durante la época COVID-19, representada en la Figura 9, esta correlación llega hasta -0,706.

En línea con lo que comentamos, las subidas históricas del VIX en el mes de marzo llevaron aparejadas unas caídas igualmente históricas del S&P 500. Entre el 21 de febrero y el 23 de marzo de 2020, la cotización al cierre del S&P 500 cayó en 1100 puntos, desde los 3337,75 hasta los 2237,4, un valor en el que no se movía desde finales de 2016 y principios de 2017. Esto supuso un descenso cercano a un 33% en tan solo un mes. No existe ningún precedente de un desplome similar a este en términos absolutos, puesto que al comienzo de la crisis de 2008, entre el 26 de septiembre y el 27 de octubre, también hubo caída del S&P 500 de un 30%, pero esta fue inferior a los 400 puntos (de los 1213 a los 849). La mayor diferencia histórica entre el valor de cierre del S&P 500 de dos días consecutivos se produjo entre el 12 y el 13 de marzo de 2020, y fue de un -11,98%.

Tras alcanzar el mínimo el 23 de marzo de 2020, el S&P 500 ha conservado una tendencia ascendente, volviendo a los valores previos a la COVID-19 durante el verano, y llegando a máximos históricos desde finales del 2020. Desde el 6 de noviembre ha cotizado por encima de los 3500 puntos, una cifra que nunca antes había alcanzado. No obstante, durante todo este tiempo también se han producido algunos descensos en el S&P 500, pero en ningún caso de la magnitud del experimentado durante la primera ola. Además, estas ligeras caídas siempre han coincidido con momentos en los que el VIX se ha incrementado.

4.2. EURO STOXX 50

El Dow Jones EURO STOXX 50 es un índice bursátil compuesto, que representa la cotización de las empresas líderes de la Eurozona en los 19 supersectores. Para ello se incluyen las 50 compañías de mayor cotización en países de la Eurozona, cumpliendo la

condición de que todos los supersectores⁸ estén presentes. De esta manera, se obtiene un índice muy representativo del mercado financiero europeo, lo que favorece su uso como subyacente del índice de volatilidad VSTOXX. Actualmente el índice se compone de acciones de ocho países distintos⁹: Alemania, Bélgica, España, Finlandia, Francia, Irlanda, Italia y Holanda. Al igual que ocurría con el S&P 500, se trata de un índice ponderado por capitalización bursátil, de forma que no todas las empresas tienen el mismo peso en el índice, sino que este peso es mayor cuanto mayor es la capitalización.

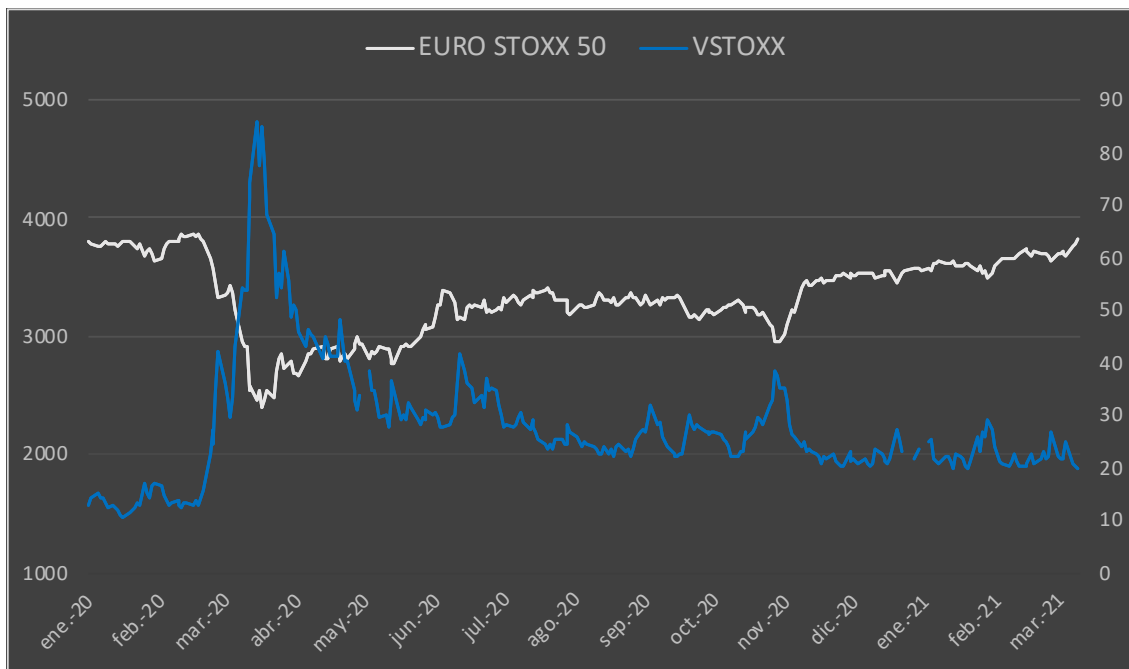


Figura 10. Evolución del EURO STOXX 50 (blanco) y del VSTOXX (azul), enero 2020 - marzo 2021. Fuente de los datos: Bloomberg. Elaboración propia

En el comienzo de la primera ola de la pandemia, entre el 18 de febrero y el 18 de marzo de 2020, el EURO STOXX 50 bajó alrededor de un 38% su valor al cierre, perdiendo casi 1500 puntos, y quedándose en apenas 2385,82. Nunca antes se había dado una bajada tan acentuada y rápida, ya que el siguiente intervalo de tiempo más corto donde el EURO

⁸ Los supersectores son una forma de división de las 10 principales industrias económicas. Así, como ejemplo, la industria financiera se puede desagregar en cuatro supersectores: banca, servicios financieros, inmobiliaria y seguros.

⁹ Para conocer las 50 empresas que actualmente están incluidas en el Dow Jones EURO STOXX 50 véase <https://www.stoxx.com/index-details?symbol=sx5e>

STOXX 50 tuvo un desplome parecido ocupó dos meses y medio, cuando pasó de los 3416 a los 2166 entre el 2 de septiembre y el 21 de noviembre de 2008. La mayor diferencia histórica entre el valor de cierre del EURO STOXX 50 de dos días consecutivos se produjo entre el 10 y el 11 de marzo de 2020, y fue de -12,48%. Esto pone de manifiesto la importancia del impacto que la COVID-19 tuvo en el mercado europeo.

Este descenso histórico del EURO STOXX 50 coincide con el aumento de la volatilidad implícita reflejado en el VSTOXX, lo que a su vez resalta la relación negativa existente entre ambos índices. Esta relación negativa se ha visto intensificada durante la crisis originada por la COVID-19, ya que la correlación entre el EURO STOXX 50 y el VSTOXX en este tiempo ha sido de -0,858, en comparación con el -0,376 de los últimos 21 años. Sin embargo, esta relación negativa no es en ningún caso perfecta, como podemos ver si nos fijamos en el mes de junio de la Figura 10. Ese mes, los anuncios de las perspectivas de recuperación económica de la Fed y de la OCDE generaron nerviosismo entre los inversores, lo que provocó un aumento del VSTOXX en los días posteriores, que no trasladó completamente sus efectos al subyacente. Afirmamos esto porque el descenso del EURO STOXX 50 fue pequeño en comparación con el incremento del VSTOXX.

Después del 18 de marzo, el EURO STOXX 50 comenzó un recorrido ascendente relativamente estable, que le permite situarse cercano a los 4000 puntos en marzo de 2021. La única caída significativa que se produjo en este tiempo fue a finales de octubre, cuando se asomaba una segunda ola de la enfermedad, con las consecuentes restricciones e implicaciones negativas para el comercio y la economía, lo que provocó la bajada de las bolsas de forma generalizada.

4.3. IBEX 35

El IBEX 35 es considerado el índice de referencia del mercado español, puesto que agrupa a las 35 empresas más líquidas y de mayor capitalización¹⁰ que cotizan en las

¹⁰ Para conocer las 35 empresas que actualmente están incluidas en el IBEX 35 véase <https://www.bolsamadrid.es/esp/asp/Mercados/Precios.aspx?indice=ES0SI000005>

cuatro bolsas españolas (Madrid, Barcelona, Bilbao y Valencia). Al contrario que lo visto con el EURO STOXX 50, el IBEX 35 no se compone atendiendo a criterios de diversificación sectorial y tan solo se tiene en cuenta la capitalización de las empresas y la liquidez de sus acciones. El peso de cada una de las compañías que forman parte del índice también se pondera en base a su capitalización bursátil, tal y como sucede en el S&P 500 y el EURO STOXX 50.

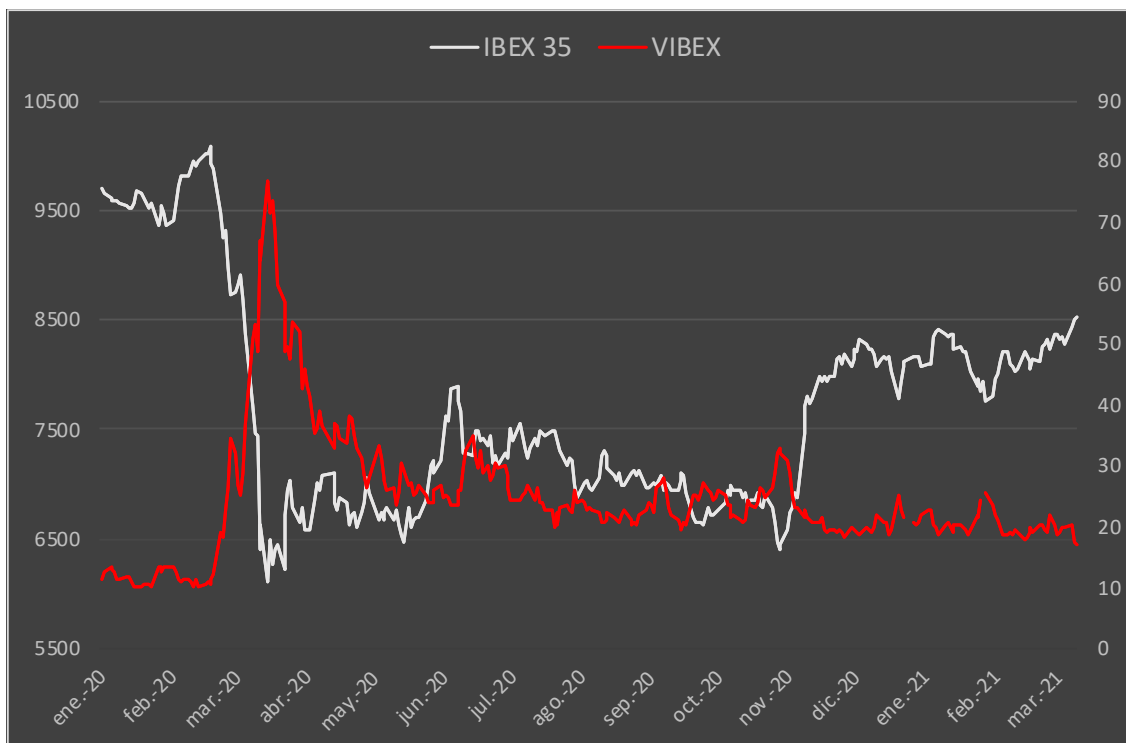


Figura 11. Evolución del IBEX 35 (blanco) y del VIBEX (rojo), enero 2020 - marzo 2021. Fuente de los datos: Bloomberg. Elaboración propia

Los efectos de la COVID-19 en el mercado español fueron inmediatos, ya que en menos de un mes, la valoración del IBEX 35 se desplomó un 39,4%, pasando de los 10083,6 puntos del 19 de febrero a los 6107,2 en los que cerró el 16 de marzo, coincidiendo con el día en que el VIBEX registró su máximo durante la pandemia. Esta caída es superior a la que han experimentado tanto el S&P 500 como el EURO STOXX 50. Si bien la Figura 11 permite apreciar una relación inversa entre el IBEX 35 y el VIBEX, esta no es tan evidente como la de las Figuras 9 y 10. Prueba de ello es que para ese mismo periodo, el VIBEX y el IBEX 35 han tenido una correlación de -0,641, por debajo de las que hemos visto en las relaciones S&P 500-VIX y EURO STOXX 50-VSTOXX.

El descenso continuado del VIBEX (a pesar de algunos repuntes) desde que se alcanzó el pico del 16 de marzo no ha trasladado sus efectos al IBEX 35, ya que no se ha producido una recuperación sostenida de la cotización del índice como las que sí veíamos en el S&P 500 y en el EURO STOXX 50. El IBEX 35 osciló cercano a los 7000 puntos durante la primera ola, hasta que a mediados de mayo, coincidiendo con la ejecución del plan de desescalada diseñado por el Gobierno, se produjo un ascenso significativo gracias a las expectativas de recuperación comercial y económica, llegando a cerrar el 6 de junio en casi 7900 puntos. Desde entonces, y a pesar de que el VIBEX se mantenía relativamente estable, el IBEX 35 mantuvo una tendencia bajista.

Esta tendencia bajista se vio acrecentada a finales de octubre, al tiempo que el VIBEX se incrementaba, a causa del aumento de contagios en la segunda ola. Sin embargo, el índice rebotó en las primeras semanas de noviembre, gracias a las noticias sobre la efectividad de las vacunas de la COVID-19. Esta fuerte subida ha permitido que desde diciembre el IBEX 35 se mueva alrededor de los 8000 puntos, llegando incluso a cerrar por encima de los 8400 el 8 de marzo de 2021. Esta recuperación, no obstante, parece insuficiente, ya que un año después del comienzo de la pandemia, todavía no se ha vuelto a los valores previos a la COVID-19, cuando el IBEX 35 se movía entorno a los 9000 puntos.

5. ÍNDICES DE VOLATILIDAD COMO PREDICTORES DE ÍNDICES BURSÁTILES SUBYACENTES

Hemos visto que los índices de volatilidad y sus subyacentes presentan una relación negativa, y que esta se intensifica durante los momentos de crisis. Por ello, en este apartado se pretende comprobar la capacidad de los índices de volatilidad que hemos visto a lo largo del trabajo para predecir los valores futuros de los índices subyacentes. Para contrastar esta hipótesis se han hecho dos estimaciones para los últimos 10 días para los que tenemos datos disponibles. La primera predicción la hemos realizado basándonos en los valores históricos de cambio diario del valor de cierre del propio índice subyacente. La segunda la hemos llevado a cabo basándonos en los valores de los índices de volatilidad los dos meses anteriores. Posteriormente hemos comparado ambas estimaciones con los valores reales de esos 10 días y hemos visto cual funciona mejor.

5.1. VIX y S&P 500

En primer lugar, para hacer una predicción de los valores de cierre del S&P 500, hemos usado un modelo GARCH (1,1) sobre la variación del valor de cierre de un día respecto al anterior. En este trabajo, hemos usado el cambio diario del valor de cierre como retorno de los índices, y los hemos calculado por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Cambio diario}_t = \frac{\text{Valor de cierre}_t - \text{Valor de cierre}_{t-1}}{\text{Valor de cierre}_{t-1}}$$

La variación diaria del valor de cierre de los índices bursátiles se caracteriza por ser una serie heterocedástica, esto es, que presenta clusters de volatilidad. Esto significa que en la serie, tomando como ejemplo la Figura 12, se aprecian momentos donde la varianza es pequeña, por ejemplo durante el 2005, y otros en los que la volatilidad es muy grande, como en 2009.

Variación diaria valor de cierre S&P 500

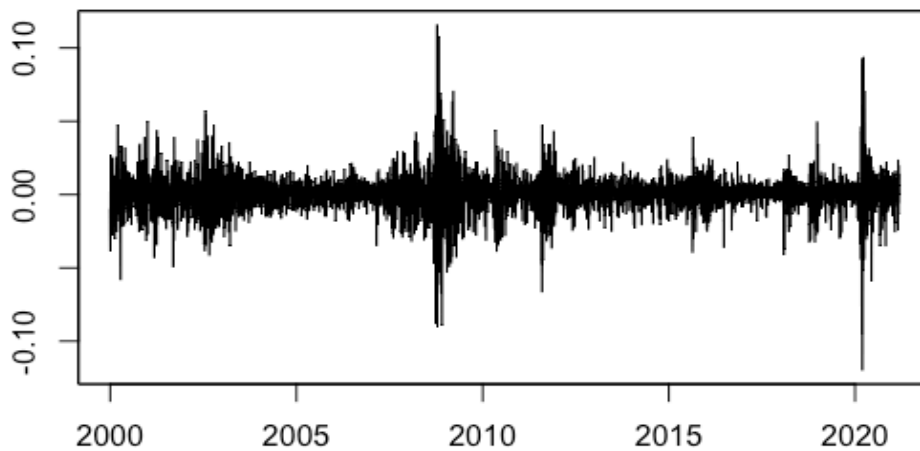


Figura 12. Variación diaria en el valor de cierre del S&P 500, enero 2000 - marzo 2021. Fuente: *Elaboración propia*

Esta heterocedasticidad se puede modelizar por medio de modelos ARCH¹¹, cuando la varianza depende de los residuos al cuadrado, o por medio de modelos GARCH¹², cuando la varianza depende de los residuos al cuadrado y de la propia varianza pasada. Estos modelos surgieron principalmente para poder analizar las series de los mercados financieros, que no siguen funciones lineales. En nuestro caso hemos usado un modelo GARCH (1,1) sobre la variación diaria del valor de cierre del S&P 500 desde que comenzó el siglo XXI, lo que nos permite hacer una predicción sobre los 10 siguientes valores de cambio diario que la serie va a tomar. Hemos multiplicado estas predicciones de cambio diario más uno, por los valores de cierre del S&P 500 del día anterior, obteniendo así las estimaciones futuras del índice.

¹¹ Los modelos ARCH (modelos de Heterocedasticidad Condicional AutoRegresiva) fueron introducidos por Robert Engle en 1982. Son procesos incorrelados en serie y de media cero, y que se componen de varianzas no constantes condicionadas a los errores (residuos) del pasado y de varianzas no condicionadas constantes (Engle, 1982).

¹² Los modelos GARCH (modelos ARCH Generalizados), introducidos por Tim Bollerslev en 1986, son una variación de los modelos ARCH en los que se determina que la varianza no solo está condicionada a los errores pasados, sino también a la varianza pasada.

| Momento | Fecha | Predicción cambio diario (a) | Valor de cierre real (b) | Valor de cierre esperado ($c_t = c_{t-1} * (1 + a_{t-1})$) | Error (c-b) |
|---------|------------|------------------------------|--------------------------|--|-------------|
| t+1 | 25/02/2021 | 0,003555 | 3829,34 | - | - |
| t+2 | 26/02/2021 | 0,000996 | 3811,15 | 3829,34 | 31,80 |
| t+3 | 01/03/2021 | -0,008271 | 3901,82 | 3842,95 | -55,04 |
| t+4 | 02/03/2021 | 0,007809 | 3870,29 | 3846,78 | -55,33 |
| t+5 | 03/03/2021 | 0,003164 | 3819,72 | 3814,96 | 25,04 |
| t+6 | 04/03/2021 | 0,004720 | 3768,47 | 3844,76 | 88,45 |
| t+7 | 05/03/2021 | -0,001494 | 3841,94 | 3856,92 | 33,18 |
| t+8 | 08/03/2021 | 0,001621 | 3821,35 | 3875,12 | 47,98 |
| t+9 | 09/03/2021 | 0,001761 | 3875,44 | 3869,33 | 0,17 |
| t+10 | 10/03/2021 | -0,001147 | 3898,81 | 3875,61 | -16,38 |

Tabla 3. Predicciones del modelo GARCH (1,1) para el S&P 500. Fuente: Elaboración propia

La segunda estimación la hemos realizado por medio de una regresión lineal simple, en la que vemos como afecta el valor del VIX de un día, al valor del S&P 500 del día siguiente. De esta forma, podríamos anticiparnos a los movimientos del S&P 500 con un día de antelación. Para la regresión, hemos empleado como conjunto de entrenamiento los 40 días (aproximadamente dos meses) anteriores al momento que queremos predecir, y como conjunto de validación los 10 días siguientes (dos semanas). En ambos conjuntos, lo que se analiza es la relación entre el valor del VIX de un día (t) con la cotización del S&P 500 del día posterior ($t+1$), no del mismo día.

Esta regresión lineal simple se puede describir por medio de la siguiente ecuación:

$$Y = a + X \cdot b$$

Donde:

- Y, la variable dependiente, es el valor de cierre del S&P 500 el día t .
- a, es un valor constante, el que tomaría Y si X fuese igual a 0.
- X, la variable independiente, es el valor del VIX el día $t-1$.
- b, es el efecto que cada variación en X tiene en Y.

| Momento | Fecha | Valor VIX (a) | Valor de cierre real (b) | Predicción valor de cierre (c) | Error (c-b) |
|---------|------------|---------------|--------------------------|--------------------------------|-------------|
| t=0 | 24/02/2021 | 21,34 | 3925,43 | - | - |
| t+1 | 25/02/2021 | 28,89 | 3829,34 | 3851,87 | 22,53 |
| t+2 | 26/02/2021 | 27,95 | 3811,15 | 3786,44 | -24,71 |
| t+3 | 01/03/2021 | 23,35 | 3901,82 | 3794,59 | -107,23 |
| t+4 | 02/03/2021 | 24,1 | 3870,29 | 3834,45 | -35,84 |
| t+5 | 03/03/2021 | 26,67 | 3819,72 | 3827,95 | 8,23 |
| t+6 | 04/03/2021 | 28,57 | 3768,47 | 3805,68 | 37,21 |
| t+7 | 05/03/2021 | 24,66 | 3841,94 | 3789,22 | -52,72 |
| t+8 | 08/03/2021 | 25,47 | 3821,35 | 3823,10 | 1,75 |
| t+9 | 09/03/2021 | 24,03 | 3875,44 | 3816,08 | -59,36 |
| t+10 | 10/03/2021 | 22,56 | 3898,81 | 3828,56 | -70,25 |

Tabla 4. Predicciones de la regresión lineal entre el VIX y el S&P 500. Fuente: *Elaboración propia*

Para comparar el rendimiento de ambos modelos, debemos fijarnos en la columna del “Error” de las Tablas 3 y 4. A simple vista no parece apreciarse una gran diferencia entre los errores de las predicciones hechas por medio de la regresión lineal y los del modelo GARCH (1,1), por lo que para determinar que modelo es más preciso vamos a emplear el error absoluto medio (MAE), el error cuadrático medio (RMSE) y el error porcentual absoluto medio (MAPE). El MAE de las predicciones del modelo GARCH es de 39,26, el RMSE es de 46,22 y el MAPE de 1,02%. Por su parte, las predicciones de la regresión lineal tienen un MAE de 41,98, un RMSE de 51,57 y un MAPE de 1,09%, lo que supone un resultado ligeramente peor que el modelo GARCH en todas las medidas de comparación.

| S&P 500 | MAE | RMSE | MAPE |
|--------------------|-------|-------|-------|
| Modelo GARCH (1,1) | 39,26 | 46,22 | 1,02% |
| Regresión lineal | 41,98 | 51,57 | 1,09% |

Tabla 5. Comparativa de errores de las predicciones para el S&P 500. Fuente: *Elaboración propia*

Las diferencias en las predicciones entre ambos modelos se pueden apreciar también visualmente, como hacemos en la Figura 13.

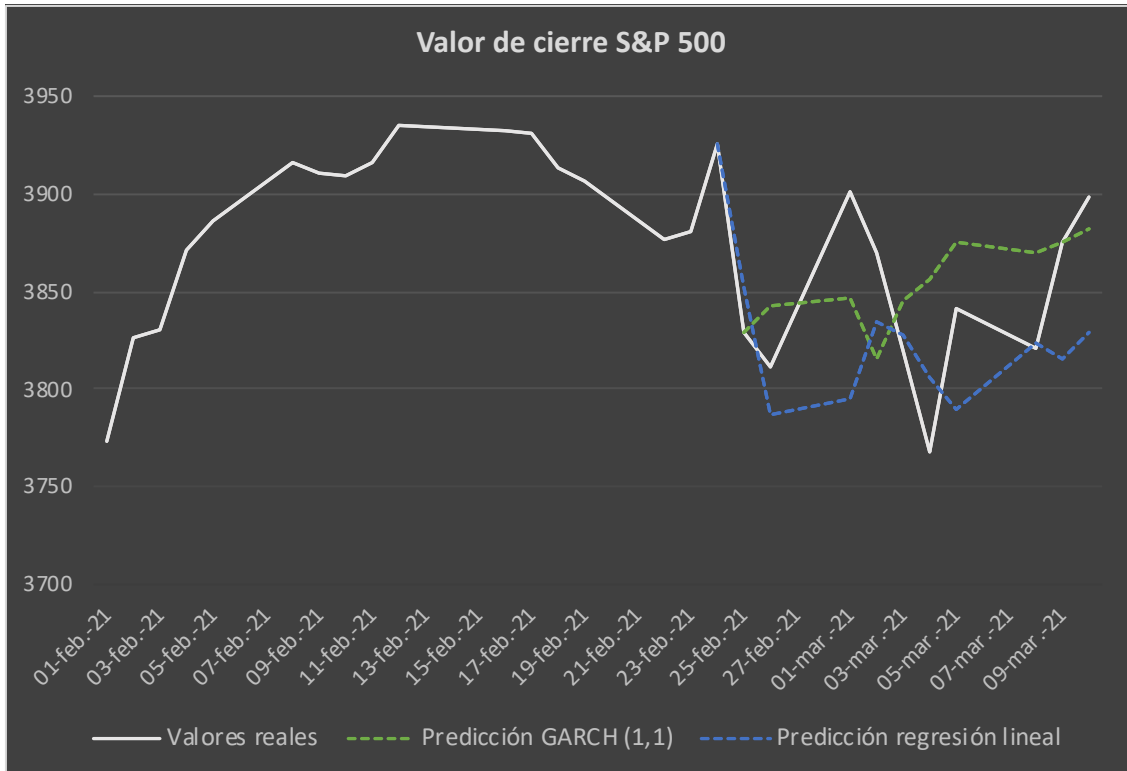


Figura 13. Comparación de las predicciones del valor al cierre del S&P 500 con su valor real. Fuente: *Elaboración propia*

La figura 13 muestra algunos apuntes que debemos mencionar. En primer lugar, como con el modelo GARCH (1,1) las predicciones se hacen sobre el cambio diario del valor de cierre del S&P 500 (y no sobre el valor de cierre directamente), la primera estimación del valor del S&P 500 es del 26 de febrero (resultado de multiplicar el valor real del S&P 500 del 25 de febrero por, uno más la tasa de variación predicha por el modelo para ese día), mientras que en la regresión lineal, como se calcula directamente sobre el valor de cierre del S&P 500, la primera predicción es para el 25 de febrero. En segundo lugar, puede verse que, a pesar de que las medidas de comparación de los errores arrojan resultados muy parecidos para ambas predicciones, el comportamiento que siguen es muy distinto, ya que cuando una sube la otra baja, y viceversa. Cabe mencionar también que, aunque la predicción hecha por medio de la regresión lineal ha tenido un MAE, RMSE y MAPE sensiblemente peores, parece capturar mejor los movimientos del valor de cierre del S&P 500. Esto se evidencia en que la correlación de los valores reales con las predicciones del modelo GARCH (1,1) a partir del 26 de febrero es de 0,096, mientras que la correlación que guarda con la predicción de la regresión lineal es de 0,206.

5.2. VSTOXX y EURO STOXX 50

Como ya hemos anticipado que ocurre con todas las series financieras, el cambio diario del valor de cierre del EURO STOXX 50 también es una serie que presenta heterocedasticidad, lo que conlleva las mismas implicaciones que hemos comentado para el S&P 500. Es por ello que para las primeras estimaciones también hemos usado un modelo GARCH (1,1) sobre la tasa de cambio diaria del valor de cierre del EURO STOXX 50 de los últimos 21 años. Hemos seguido el mismo proceso que con el S&P 500, multiplicando las predicciones de la variación diaria más uno, por el último valor de cierre real del EURO STOXX 50 con el que se ha entrenado el modelo.

| Momento | Fecha | Predicción cambio diario (a) | Valor de cierre real (b) | Valor de cierre esperado ($c_t = c_{t-1} * (1 + a_{t-1})$) | Error (c-b) |
|---------|------------|------------------------------|--------------------------|--|-------------|
| t+1 | 25/02/2021 | -0,001233 | 3685,28 | - | - |
| t+2 | 26/02/2021 | 0,000609 | 3636,44 | 3680,74 | 44,30 |
| t+3 | 01/03/2021 | 0,002103 | 3706,62 | 3682,98 | -23,64 |
| t+4 | 02/03/2021 | 0,000882 | 3707,72 | 3690,72 | -17,00 |
| t+5 | 03/03/2021 | 0,001548 | 3712,78 | 3693,98 | -18,80 |
| t+6 | 04/03/2021 | 0,001400 | 3704,85 | 3699,69 | -5,16 |
| t+7 | 05/03/2021 | 0,001746 | 3669,54 | 3704,87 | 35,33 |
| t+8 | 08/03/2021 | -0,001008 | 3763,24 | 3711,34 | -51,90 |
| t+9 | 09/03/2021 | -0,000032 | 3786,05 | 3707,60 | -78,45 |
| t+10 | 10/03/2021 | -0,000414 | 3819,92 | 3707,48 | -112,44 |

Tabla 6. Predicciones del modelo GARCH (1,1) para el EURO STOXX 50. Fuente: *Elaboración propia*

Con la segunda predicción, se pretende ver cómo la cotización del EURO STOXX 50 de un día reacciona al valor del VSTOXX del día anterior. Para ello hemos utilizado una regresión lineal simple, tal y como habíamos hecho antes con el VIX y el S&P 500. Con el fin de que los resultados sean equiparables posteriormente, hemos homogeneizado el procedimiento, usando como conjunto de entrenamiento los 40 días anteriores a la primera fecha que se quiere predecir, y como conjunto de validación los 10 días posteriores a esa fecha.

| Momento | Fecha | Valor VSTOXX (a) | Valor de cierre real (b) | Predicción valor de cierre (c) | Error (c-b) |
|---------|------------|------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------|
| t=0 | 24/02/2021 | 21,43 | 3705,99 | - | - |
| t+1 | 25/02/2021 | 22,10 | 3685,28 | 3643,211 | -42,069 |
| t+2 | 26/02/2021 | 26,86 | 3636,44 | 3632,66 | -3,78 |
| t+3 | 01/03/2021 | 22,16 | 3706,62 | 3557,638 | -148,982 |
| t+4 | 02/03/2021 | 21,81 | 3707,72 | 3631,666 | -76,054 |
| t+5 | 03/03/2021 | 21,70 | 3712,78 | 3637,111 | -75,669 |
| t+6 | 04/03/2021 | 22,09 | 3704,85 | 3638,965 | -65,885 |
| t+7 | 05/03/2021 | 25,08 | 3669,54 | 3632,733 | -36,807 |
| t+8 | 08/03/2021 | 20,90 | 3763,24 | 3585,73 | -177,51 |
| t+9 | 09/03/2021 | 20,26 | 3786,05 | 3651,526 | -134,524 |
| t+10 | 10/03/2021 | 19,67 | 3819,92 | 3661,546 | -158,374 |

Tabla 7. Predicciones de la regresión lineal entre el VSTOXX y el EURO STOXX 50. Fuente: *Elaboración propia*

Una primera comparación entre los errores de la Tabla 6 y los de la Tabla 7 nos conduce a pensar que el rendimiento del modelo GARCH (1,1) para predecir el valor de cierre del EURO STOXX 50 es superior al de la regresión lineal. Ello porque todos los errores en valor absoluto del modelo GARCH salvo uno están por debajo de 80, mientras que varios de los errores de la regresión lineal están por encima de los 100. Consecuentemente, cuando calculamos el error absoluto medio, obtenemos un 43,00 para el modelo GARCH, que contrasta con el 91,97 que resulta de la regresión lineal. En el mismo sentido, el RMSE del modelo GARCH es de 53,67, prácticamente la mitad que el de la regresión lineal, que es de 107,64. Por último, el MAPE del modelo GARCH es 1,15%, por el 2,46% de la regresión lineal. La predicción del modelo GARCH (1,1) podría ser aún mejor, puesto que salvo para dos predicciones, en las que se equivoca por más de 78 puntos, en el resto de predicciones el error está por debajo de 52.

| EURO STOXX 50 | MAE | RMSE | MAPE |
|--------------------|-------|--------|-------|
| Modelo GARCH (1,1) | 43,00 | 53,67 | 1,15% |
| Regresión lineal | 91,97 | 107,64 | 2,46% |

Tabla 8. Comparativa de errores de las predicciones para el EURO STOXX 50. Fuente: *Elaboración propia*

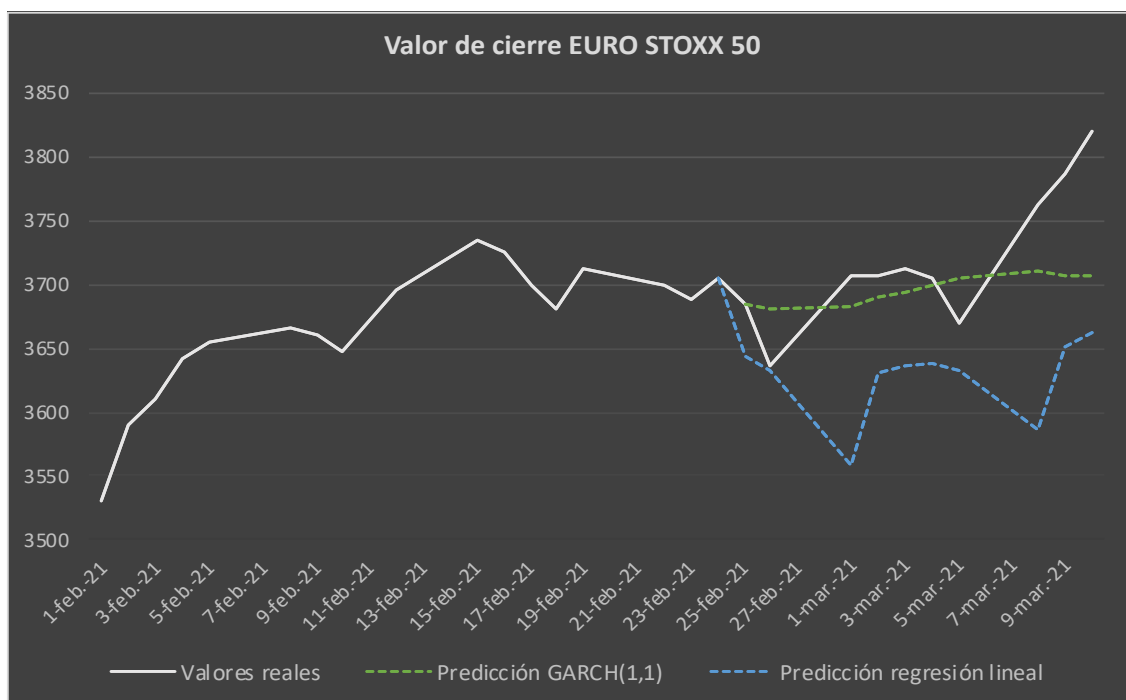


Figura 14. Comparación de las predicciones del valor al cierre del EURO STOXX 50 con su valor real. Fuente: *Elaboración propia*

En la Figura 14 se puede observar que el modelo GARCH (1,1) no prevé grandes oscilaciones en el valor de cierre del EURO STOXX 50 para el periodo de predicción. Una primera bajada, seguida de un ascenso continuado, para acabar descendiendo de nuevo en los últimos días. Es en estos últimos días donde se acentúa el error del modelo, ya que es incapaz de predecir la fuerte subida del EURO STOXX 50. Por su parte, las predicciones hechas con la regresión lineal del VSTOXX parecen imitar bien los movimientos del EURO STOXX 50, pero lo sitúan en todo momento en valores inferiores a los que realmente ha presentado. La predicción del modelo GARCH (1,1) comienza un día más tarde que la de la regresión lineal por las mismas razones anteriormente expuestas en la Figura 13, debido a que se ha seguido el mismo método para su elaboración.

5.3. VIBEX e IBEX 35

La metodología que hemos seguido aquí ha sido la misma que en los dos subapartados anteriores. Primero hemos estimado un modelo GARCH (1,1) sobre la variación diaria del valor de cierre del IBEX 35 desde comienzos del año 2000 hasta el último día previo a la primera fecha de predicción, el 25 de febrero de 2021. Con la predicción del cambio diario y el dato real del 25 de febrero hemos calculado las estimaciones para los 10 días siguientes, de la misma forma que lo hacíamos para los índices anteriores.

| Momento | Fecha | Predicción cambio diario (a) | Valor de cierre real (b) | Valor de cierre esperado ($c_t=c_{t-1}*(1+a_{t-1})$) | Error (c-b) |
|----------------|--------------|-------------------------------------|---------------------------------|--|--------------------|
| t+1 | 25/02/2021 | 0,002044 | 8317,8 | - | - |
| t+2 | 26/02/2021 | 0,000731 | 8225,0 | 8334,8 | 109,8 |
| t+3 | 01/03/2021 | 0,002964 | 8378,1 | 8340,9 | -37,2 |
| t+4 | 02/03/2021 | -0,002048 | 8355,8 | 8365,6 | 9,8 |
| t+5 | 03/03/2021 | -0,000507 | 8329,3 | 8348,5 | 19,2 |
| t+6 | 04/03/2021 | 0,000592 | 8354,0 | 8344,3 | -9,7 |
| t+7 | 05/03/2021 | 0,002192 | 8286,8 | 8349,2 | 62,4 |
| t+8 | 08/03/2021 | 0,000846 | 8444,2 | 8367,5 | -76,7 |
| t+9 | 09/03/2021 | -0,002369 | 8496,4 | 8374,6 | -121,8 |
| t+10 | 10/03/2021 | 0,000932 | 8525,2 | 8354,7 | -170,5 |

Tabla 9. Predicciones del modelo GARCH (1,1) para el IBEX 35. Fuente: *Elaboración propia*

La segunda predicción ha sido, al igual que para los otros índices, una regresión lineal simple entre el valor de cierre del IBEX 35 y el valor de su índice de volatilidad implícita, el VIBEX, el día anterior. El conjunto de entrenamiento se ha compuesto de los 40 días previos al momento de predicción, y como conjunto de validación se han elegido los 10 días siguientes al día de la primera predicción, el 25 de febrero.

| Momento | Fecha | Valor VIBEX (a) | Valor de cierre real (b) | Predicción valor de cierre (c) | Error (c-b) |
|----------------|--------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| t=0 | 24/02/2021 | 19,58 | 8269,6 | - | - |
| t+1 | 25/02/2021 | 19,06 | 8317,8 | 8176,1 | -141,7 |
| t+2 | 26/02/2021 | 22,08 | 8225,0 | 8198,3 | -26,7 |
| t+3 | 01/03/2021 | 20,5 | 8378,1 | 8069,2 | -308,9 |
| t+4 | 02/03/2021 | 18,56 | 8355,8 | 8136,7 | -219,1 |
| t+5 | 03/03/2021 | 19,21 | 8329,3 | 8219,7 | -109,6 |
| t+6 | 04/03/2021 | 19,99 | 8354,0 | 8191,9 | -162,1 |
| t+7 | 05/03/2021 | 19,79 | 8286,8 | 8158,5 | -128,3 |
| t+8 | 08/03/2021 | 20,17 | 8444,2 | 8167,1 | -277,1 |
| t+9 | 09/03/2021 | 17,66 | 8496,4 | 8150,8 | -345,6 |
| t+10 | 10/03/2021 | 17,17 | 8525,2 | 8258,1 | -267,1 |

Tabla 10. Predicciones de la regresión lineal entre el VIBEX y el IBEX 35. Fuente: *Elaboración propia*

Lo que más llama la atención de las Tablas 9 y 10 es el tamaño de los errores de las predicciones hechas por la regresión, que generan un MAE de 198,62 y un RMSE de 220,60. Aunque pueda parecer que en este caso la regresión lineal está funcionando mucho peor que para el S&P 500 y el EURO STOXX 50, lo cierto es que una de las razones de que aquí el error sea mayor reside en que en este periodo el IBEX 35 se mueve por encima de los 8000 puntos, mientras que los otros dos índices bursátiles se hallaban en torno a los 4000. Así, el error porcentual absoluto medio es de 2,36%, inferior incluso al que tenía el EURO STOXX 50. Los errores del modelo GARCH (1,1), sin embargo, no son tan elevados, lo que parece indicar un mayor rendimiento de este modelo. El error absoluto medio es de 68,57, el RMSE de 86,71 y el MAPE de 0,82%, lo que supone algo más de un tercio del valor que todas las medidas comparativas tienen para la regresión lineal.

| IBEX 35 | MAE | RMSE | MAPE |
|--------------------|------------|-------------|-------------|
| Modelo GARCH (1,1) | 68,57 | 86,71 | 0,82% |
| Regresión lineal | 198,62 | 220,60 | 2,36% |

Tabla 11. Comparativa de errores de las predicciones para el IBEX 35. Fuente: *Elaboración propia*

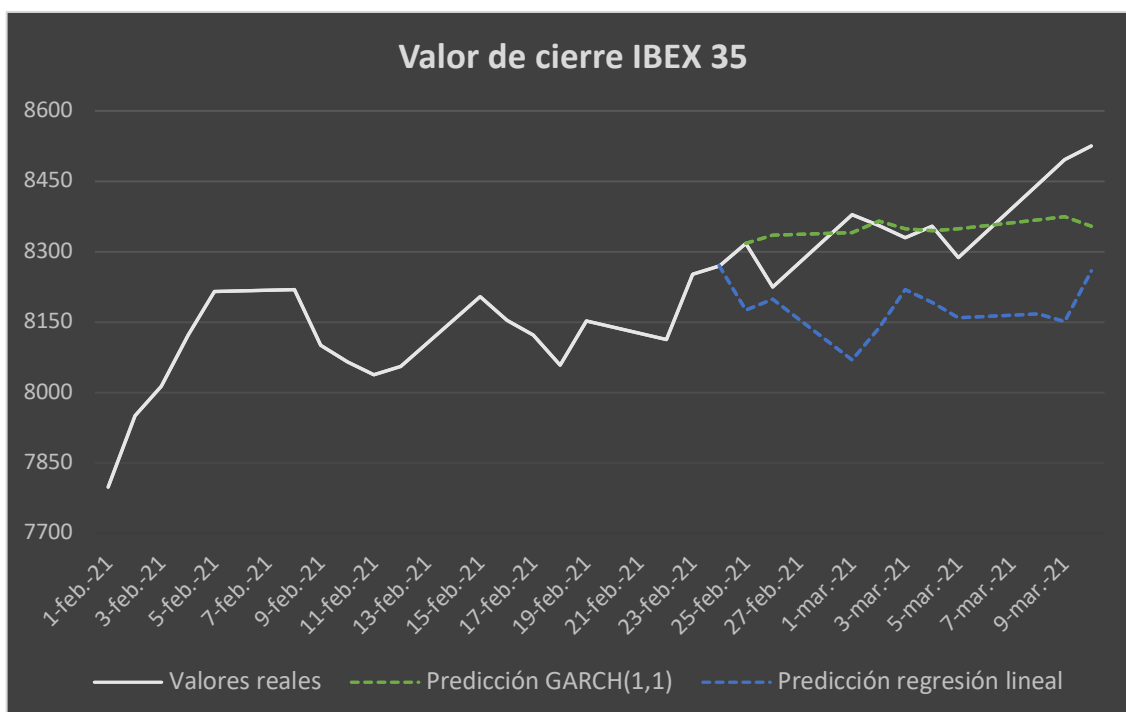


Figura 15. Comparación de las predicciones del valor al cierre del IBEX 35 con su valor real. Fuente: *Elaboración propia*

La predicción del modelo GARCH (1,1) que hemos graficado en la Figura 15 no tiene fluctuaciones importantes, ya que tan solo presenta ligeras subidas y bajadas respecto al último valor real. Por lo tanto, no se trata de una predicción tan buena como la que se intuía en la Tabla 9, debido a que el motivo de que el error sea pequeño es que no predice grandes movimientos, y no que los esté intuyendo bien. La regresión lineal realiza unas predicciones que sí tienen un mayor variación, pero que se quedan cortas en todo momento, pues durante todo el periodo de predicción están por debajo del valor real de cierre del IBEX 35.

6. CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo se pueden agrupar en dos grandes bloques. (i) Por un lado, están las relativas a los efectos que ha tenido la COVID-19 en los mercados financieros de Estados Unidos, Europa y España. (ii) Por otro lado, tenemos los resultados de si es posible usar una regresión lineal de los índices de volatilidad y sus subyacentes para poder predecir el valor futuro de estos subyacentes con cierta precisión.

(i) El primer bloque de las conclusiones se extrae fundamentalmente del análisis de los apartados 3 y 4 de este trabajo. Podemos afirmar que los mercados financieros reaccionaron rápidamente a la expansión de la COVID-19 durante la primera ola, ya que el 16 de marzo de 2020 los tres índices de volatilidad implícita marcaron su máximo durante la pandemia. La incertidumbre que existía entre los inversores en ese momento fue equivalente a la del momento más álgido de la crisis financiera de 2008, ya que el 16 de marzo el VIX cerró en su máximo histórico, por encima de su pico durante la crisis de 2008, mientras que el VSTOXX y el VIBEX se quedaron tan solo un par de puntos por debajo.

Tras un primer shock inicial, los índices de volatilidad comenzaron un descenso prolongado, interrumpido por algunas subidas, que en ningún caso han tenido la magnitud de la primera. El comportamiento de estos índices de volatilidad demuestra que son más sensibles a las amenazas y noticias negativas, generadoras de rápidos aumentos, que a las noticias positivas, cuyos efectos son más difíciles de percibir. Esto provoca que, en los tres índices de volatilidad, los periodos alcistas sean cortos pero muy intensos, y los periodos bajistas sean largos y con menor pendiente. Los últimos datos, a 10 de marzo de 2021, que se incluyen en este trabajo, muestran que el VIX, el VSTOXX y el VIBEX se mueven alrededor de los 20 puntos. En consecuencia, puede concluirse que, un año después de que se la COVID-19 se declarase pandemia, los mercados financieros han aprendido a convivir con esta enfermedad y lidiar con los riesgos que implica para los inversores.

Los efectos de la COVID-19 en los índices bursátiles subyacentes tampoco se hicieron esperar, y desencadenaron desplomes históricos en todos ellos. Durante el comienzo de la primera ola, entre mediados de febrero y mediados de marzo, los tres índices bursátiles que aquí hemos visto cayeron en más de un 30%, llegando la caída hasta un 38% y un

39% en el EURO STOXX 50 y en el IBEX 35 respectivamente. Después de esta bajada, que afectó a Estados Unidos, Europa y España por igual, el comportamiento de estos índices de referencia no ha sido el mismo. De una parte, el S&P 500 y el EURO STOXX 50 tras alcanzar su mínimo durante la pandemia, comenzaron un recorrido alcista sostenido que han mantenido hasta ahora, con apenas unas pocas caídas que requieran atención. Esto permitió que el S&P 500 recuperase durante la segunda quincena de agosto los valores previos a la COVID-19, batiendo sus máximos históricos de manera recurrente desde entonces. La tendencia al alza del EURO STOXX 50 no ha sido tan intensa, pero aun así le ha permitido llegar a la primera semana de marzo de 2021 con valores superiores a los que marcaba antes de que comenzase la pandemia.

De otra parte, tenemos el IBEX 35, en el que después de marzo puede apreciarse una subida con alta volatilidad, y que concluye la primera semana de junio. A esto le siguió un periodo a la baja, también con una varianza elevada, que desembocó en que a finales de octubre, el IBEX 35 se encontrase al mismo nivel que a mediados de marzo. El buen rendimiento de la bolsa española en el mes de noviembre ha permitido una cierta recuperación, pero todavía nos encontramos lejos de los niveles anteriores a la COVID-19. Por lo tanto, podemos concluir que la reacción a medio y largo plazo del mercado financiero español frente a la COVID-19 ha sido peor que en Europa y en Estado Unidos. Entre estas dos regiones, el mercado financiero americano ha demostrado ser el más fuerte y el que ha conseguido recuperarse antes.

Para finalizar con las conclusiones de este primer bloque, se ha constatado que las crisis económicas generan dos efectos en los mercados financieros. En primer lugar, hemos visto que la correlación entre el VIX, el VSTOXX y el VIBEX aumenta significativamente debido al efecto contagio. En segundo lugar, la relación negativa entre estos índices de volatilidad y sus índices bursátiles subyacentes también se intensifica durante estos periodos. De este modo, se contrasta la utilidad de emplear posiciones en los índices de volatilidad para protegerse de las caídas en bolsa.

(ii) En el segundo bloque de las conclusiones incluimos las relacionadas con la capacidad que tienen los índices de volatilidad implícita de predecir el valor de sus índices subyacentes. La comparación de las predicciones hechas por medio de la regresión lineal simple con las de los modelo GARCH (1,1) parece indicar que una regresión que solo

tiene en cuenta el valor del índice de volatilidad implícita del día anterior, no es suficiente para predecir con un adecuado nivel de acierto el valor de su índice subyacente. Para los tres índices, el MAE, el RMSE y el MAPE de la regresión lineal eran mayores que los del modelo GARCH (1,1), si bien es cierto que en el caso del S&P 500 esta diferencia era bastante pequeña.

A pesar de que los errores eran grandes, las predicciones hechas con la regresión lineal parecían imitar mejor los movimientos de los valores reales de cierre de los índices que el modelo GARCH (1,1). Esto da pie a pensar que, si se introdujese alguna mejora por medio de un modelo que además de los índices de volatilidad tuviese en cuenta otras variables, tal vez podría disminuirse este error y lograr una mayor precisión.

BIBLIOGRAFÍA

- Albulescu, C. T. (2020). *Coronavirus and financial volatility: 40 days of fasting and fear*.
- Baldwin, R. y Weder di Mauro, B. (2020). *Economics in the time of COVID-19: A new eBook*. A VoxEU.org eBook, CEPR Press. Recuperado de <https://voxeu.org/article/economics-time-covid-19-new-ebook>
- BME (2021). *Índice VIBEX*. Recuperado de <https://www.bmerv.es/docs/SBolsas/docsSubidos/IBEX-Estrategia-Derivados-Facsheets/Factsheet-VIBEX.pdf>
- CBOE (2009). *THE CBOE VOLATILITY INDEX – VIX*. Recuperado de <https://www.optionseducation.org/referencelibrary/white-papers/page-assets/vixwhite.aspx>
- Cheng, I. (2020). *Volatility markets underreacted to the early stages of the COVID-19 pandemic*.
- Cordero, E. (2015). *VIX: Conociendo todos sus secretos*. esBolsa. Recuperado de <https://esbolsa.com/blog/analisis-tecnico/vix-secretos/>
- Edwards, P. y Preston, H. (2017). *Reading VIX: Does VIX predict future volatility?*
- Engle, R. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, 50(4).
- Forbes, K. y Rigobon, R. (2001). Measuring Contagion: Conceptual and Empirical Issues. *International Financial Contagion*.
- Giner Rubio, J. y Morini Marrero, S. (2004) *El índice VIX para la predicción de volatilidad: un estudio internacional*.
- González, M. T. y Novales, A. (2013). *Why a volatility index can be useful in the Spanish financial market?*.
- Osterrieder, J., Röschli, K. y Vetter, L. (2019). *The VIX volatility index - A very thorough look at it*.
- Rubio, G. y García Coto, D. (2020). Desplomes bursátiles, volatilidad y aversión al riesgo. BME. Recuperado de https://www.bolsasymercados.es/ing/Studies-Research/Document/5380_Desplomes_bursatiles_volatilidad_y_aversion_al_riesgo

Stanescu, S. y Tunaru, R. (2013). *Investment Strategies with VIX and VSTOXX Futures*

STOXX, Qontigo (2021). *STOXX STRATEGY INDEX GUIDE*. Recuperado de https://www.stoxx.com/document/Indices/Common/Indexguide/stoxx_strategy_guide.pdf

Whaley, R. E. (2009). Understanding the VIX. *Journal of Portfolio Management*.

ANEXO

Se recoge, a continuación, el código de RStudio que se ha empleado tanto para la creación de distintos gráficos y tablas, como para la elaboración del modelo GARCH (1,1) y de la regresión lineal simple.

```
library(readxl)
library(quantmod)
library(zoo)
library(tseries)
library(forecast)
library(lmtest)
library(mFilter)
library(xts)
library(dynlm)
library(dplyr)
library(rmgarch)
library(rugarch)

setwd("~/Desktop/E3 Analytics/Quinto/TFG Analytics/Datos")

#####VIX#####
vix=read_xlsx("vix.xlsx", range = "A7:B5338", col_names = T, col_types =
c("date","numeric"))
vix
VIX2=ts(vix$PX_LAST)
VIX=zoo(vix$PX_LAST, order.by = vix$Date)
str(vix)

chartSeries(VIX, show.grid = T, name = "VIX", theme = chartTheme("black",
up.col="green", fg.col="white"))
chartSeries(VIX, subset = "2020::2021-03-10", show.grid = T, name = "VIX", theme =
chartTheme("black", up.col=colors()[50], fg.col="white"))

mean(vix$PX_LAST)
median(vix$PX_LAST)
```



```

futuros_vix=read.csv("Futuros del Índice S&P 500 VIX - Históricos.csv", header = T,
sep = ",", dec = ",")
futuros_vix
str(futuros_vix)
futuros_vix$Fecha=as.Date(futuros_vix$Fecha, "%d.%m.%Y")

futuros_vix
futuros_vix=futuros_vix[,1:2]
Futuros_VIX=zoo(futuros_vix$Último, order.by = futuros_vix$Fecha)
str(Futuros_VIX)
chartSeries(Futuros_VIX, subset = "2020::2021-03-10", show.grid = T, name =
"FUTUROS VIX", theme = chartTheme("black", up.col="green", fg.col="white"))

chartSeries(VIX, subset = "2020::2021-03-10", show.grid = T, name = "VIX", theme =
chartTheme("black", up.col="green", fg.col="white"), TA="addTA(Futuros_VIX,
on=1)")

#####VSTOXX#####
vstoxx=read_xlsx("vstoxx.xlsx", range = "A7:B5377", col_names = T, col_types =
c("date","numeric"))
vstoxx
VSTOXX=zoo(vstoxx$PX_LAST, order.by = vstoxx$Date)
str(VSTOXX)

chartSeries(VSTOXX, show.grid = T, name = "VSTOXX", theme = chartTheme("black",
up.col=colors()[130], fg.col="white"))
addTA(VIX, on=1, col="green")
chartSeries(VSTOXX, subset = "2020::2021-03-10", show.grid = T, name = "VSTOXX",
theme = chartTheme("black", up.col=colors()[130], fg.col="white"))
chartSeries(VSTOXX, subset = "2020::2021-03-10", show.grid = T, name = "VSTOXX",
theme = chartTheme("black", up.col=colors()[130], fg.col="white"))
addTA(VIX, on=1, col="green")

mean(vstoxx$PX_LAST)
median(vstoxx$PX_LAST)

```

```

union=merge(x=vix,y=vstoxx,by="Date")
cor(union$PX_LAST.x,union$PX_LAST.y)
cor(union[1962:2457,2],union[1962:2457,3])
cor(union[4938:5232,2],union[4938:5232,3])

#####VIBEX#####
vibex=read_xlsx("vibex.xlsx", range = "A7:B3624", col_names = T, col_types =
c("date","numeric"))
vibex
VIBEX=zoo(vibex$PX_LAST, order.by = vibex$Date)
str(VIBEX)

chartSeries(VIBEX, show.grid = T, name = "VIBEX", theme = chartTheme("black",
up.col="red", fg.col="white"))
addTA(VIX, on=1, col="green")
chartSeries(VIBEX, subset = "2020::2021-03-10", show.grid = T, name = "VIBEX",
theme = chartTheme("black", up.col="red", fg.col="white"))
addTA(VIX, on=1, col="green")

chartSeries(VSTOXX, subset = "2020::2021-03-10", show.grid = T, name = "VSTOXX",
theme = chartTheme("black", up.col=colors()[130], fg.col="white"))
addTA(VIBEX, on=1, col="red")
addTA(VIX, on=1, col="green")

mean(vibex$PX_LAST)
median(vibex$PX_LAST)

union2=merge(x=vix,y=vibex,by="Date")
cor(union2$PX_LAST.x,union2$PX_LAST.y)
cor(union2[1:3230,2],union2[1:3230,3])
cor(union2[3231:3525,2],union2[3231:3525,3])

##### TABLAS ESTADISTICAS #####
vix_pre=vix[1761:5032,]

```

```

vix_post=vix[5033:5331,]
summary(vix_pre$PX_LAST)
summary(vix_post$PX_LAST)
var(vix_pre$PX_LAST)
var(vix_post$PX_LAST)

vstoxx_pre=vstoxx[1764:5067,]
vstoxx_post=vstoxx[5068:5370,]
summary(vstoxx_pre$PX_LAST)
summary(vstoxx_post$PX_LAST)
var(vstoxx_pre$PX_LAST)
var(vstoxx_post$PX_LAST)

vibex_pre=vibex[1:3314,]
vibex_post=vibex[3315:3617,]
summary(vibex_pre$PX_LAST)
summary(vibex_post$PX_LAST)
var(vibex_pre$PX_LAST)
var(vibex_post$PX_LAST)

##### S&P 500 #####
sp500=read_xlsx("s&p500.xlsx", range = "A7:D5338", col_names = T, col_types =
c("date", "numeric", "numeric", "numeric"))
sp500[5331,4]=0
sp500
SP500=zoo(sp500$PX_LAST, order.by = sp500$Date)
str(SP500)
SP500_2=zoo(sp500$`Cambio diario`, order.by = sp500$Date)
SP500_3=ts(sp500$`Cambio diario`)

chartSeries(SP500, show.grid = T, name = "S&P 500", theme = chartTheme("black",
up.col="white", fg.col="white"))
plot(SP500_2, main = "Variación diaria valor de cierre S&P 500", xlab = "", ylab = "")

```

```

union3=merge(x=vix,y=sp500,by="Date")

cor(union3$PX_LAST.x,union3$PX_LAST.y)
cor(union3[5033:5331,2],union3[5033:5331,3])

#regresion lineal
union3=union3[,c(2,3)]

for (i in c(nrow(union3):1)){
  union3[i,1]=union3[i-1,1]
}
union3=union3[-1,]

train_reg=union3[c((nrow(union3)-48):(nrow(union3)-9)),]
test_reg=union3[c((nrow(union3)-9):nrow(union3)),]

regresion = lm(train_reg$PX_LAST.y ~ ., data = train_reg)
summary(regresion)
predicciones<-predict(regresion, newdata = test_reg)
predicciones
plot(predicciones, type="l")

errores<-test_reg$PX_LAST.y-predicciones
boxplot(errores)
hist(errores, breaks=20)
h<-nrow(test_reg)

RMSE<-sqrt(sum(errores^2)/h)
RMSE
MAE<-sum(abs(errores))/h
MAE

```

```

#modelo garch
train_garch=ts(SP500_3[1:5321])
test_garch=ts(SP500_3[5322:5331])

arima.fit.auto=auto.arima(train_garch,
stepwise=FALSE,approx=FALSE,seasonal=TRUE, trace=TRUE)

arima.fit.auto
coefstest(arima.fit.auto)
tsdiag(arima.fit.auto)

arima.fit = Arima(train_garch, order=c(9,0,11),
                include.constant = TRUE)
arima.fit
coefstest(arima.fit)
tsdiag(arima.fit)

residcuad=resid(arima.fit)^2
residcuad
chartSeries(residcuad)
ggtsdisplay(residuals(arima.fit), lag.max = 100)
checkresiduals(arima.fit)

train_garch.arch=dynlm(residcuad ~ L(residcuad), data = train_garch)
summary(train_garch.arch)

par(mfrow=c(1,2))
acf(residcuad, main= "FAS Residuales al cuadrado")
pacf(residcuad, main= "FAP Residuales al cuadrado")
par(mfrow=c(1,1))

ug=ugarchspec(variance.model=list(model = "sGARCH", garchOrder = c(1,1)),
              mean.model = list(armaOrder = c(9,11), include.mean=T))
ug

```

```

ugfit=ugarchfit(spec = ug, data = train_garch)
ugfit
ugfit@fit$coef

ugvar=ugfit@fit$var
ugvar

ugres=(ugfit@fit$residuals)^2
plot(ugres, type = "l")
lines(ugvar, col="green")
ugfore=ugarchforecast(ugfit, n.ahead = 10)
ugfore

##### EURO STOXX #####
eurostoxx=read_xlsx("eurostoxx.xlsx", range = "A7:D5445", col_names = T, col_types
= c("date", "numeric", "numeric", "numeric"))
eurostoxx[5438,4]=0
eurostoxx
EUROSTOXX=zoo(eurostoxx$PX_LAST, order.by = eurostoxx$Date)
str(EUROSTOXX)
eurostoxx=eurostoxx[-513,]
EUROSTOXX_2=ts(eurostoxx$PX_LAST)
EUROSTOXX_3=ts(eurostoxx$`Cambio diario`)

chartSeries(EUROSTOXX, show.grid = T, name = "EURO STOXX 50", theme =
chartTheme("black", up.col="white", fg.col="white"))
chartSeries(EUROSTOXX_3, show.grid = T, name = "Cambio diario EURO STOXX
50", theme = chartTheme("black", up.col="white", fg.col="white"))
union4=full_join(eurostoxx, vstoxx, by = "Date")
write.csv(union4,file="libro2.csv")

eurostoxx=eurostoxx[-513,]
union5=merge(x=eurostoxx,y=vstoxx,by="Date")
cor(union5$PX_LAST.x,union5$PX_LAST.y)

```

```

cor(union5[5067:5368,2],union5[5067:5368,5])

#regresion lineal
union5=union5[,c(2,5)]

for (i in c(nrow(union5):1)){
  union5[i,2]=union5[i-1,2]
}
union5=union5[-1,]

train_reg2=union5[c((nrow(union5)-48):(nrow(union5)-9)),]
test_reg2=union5[c((nrow(union5)-9):nrow(union5)),]

regresion2 = lm(train_reg2$PX_LAST.x ~ ., data = train_reg2)
summary(regresion2)
predicciones2<-predict(regresion2, newdata = test_reg2)
predicciones2
plot(predicciones2, type="l")

errores2<-test_reg2$PX_LAST.x-predicciones2
boxplot(errores2)
hist(errores2, breaks=20)
h<-nrow(test_reg2)

RMSE2<-sqrt(sum(errores2^2)/h)
RMSE2
MAE2<-sum(abs(errores2))/h
MAE2

#modelo garch
train_garch2=ts(EUROSTOXX_3[1:5428])
test_garch2=ts(EUROSTOXX_3[5429:5438])

```

```

arima.fit.auto2=auto.arima(train_garch2,
stepwise=FALSE,approx=FALSE,seasonal=TRUE, trace=TRUE)

arima.fit.auto2
coefest(arima.fit.auto2)
tsdiag(arima.fit.auto2)

arima.fit2 = Arima(train_garch2, order=c(10,0,14),
include.constant = FALSE)
arima.fit2
coefest(arima.fit2)
tsdiag(arima.fit2)

residcuad2=resid(arima.fit2)^2
residcuad2
chartSeries(residcuad2)
ggtsdisplay(residuals(arima.fit2), lag.max = 100)
checkresiduals(arima.fit2)

train_garch.arch2=dynlm(residcuad2 ~ L(residcuad2), data = train_garch2)
summary(train_garch.arch2)

par(mfrow=c(1,2))
acf(residcuad2, main= "FAS Residuales al cuadrado")
pacf(residcuad2, main= "FAP Residuales al cuadrado")
par(mfrow=c(1,1))

ug2=ugarchspec(variance.model=list(model = "sGARCH", garchOrder = c(1,1)),
mean.model = list(armaOrder = c(10,14), include.mean=T))
ug2
ugfit2=ugarchfit(spec = ug2, data = train_garch2)
ugfit2
ugfit2@fit$coef

```



```

ugvar2=ugfit2@fit$var
ugvar2

ugres2=(ugfit2@fit$residuals)^2
plot(ugres2, type = "l")
lines(ugvar2, col="green")
ugfore2=ugarchforecast(ugfit2, n.ahead = 10)
ugfore2

##### IBEX 35 #####
ibex=read_xlsx("ibex.xlsx", range = "A7:D5392", col_names = T, col_types =
c("date","numeric", "numeric", "numeric"))
ibex[5385,4]=0
ibex
IBEX=zoo(ibex$PX_LAST, order.by = ibex$Date)
str(IBEX)
IBEX_2=ts(ibex$PX_LAST)
IBEX_3=ts(ibex$`Cambio diario`)

chartSeries(IBEX, show.grid = T, name = "IBEX 35", theme = chartTheme("black",
up.col="white", fg.col="white"))
chartSeries(IBEX_3, show.grid = T, name = "Cambio diario ibex 35", theme =
chartTheme("black", up.col="white", fg.col="white"))
union6=full_join(ibex, vibex, by = "Date")
write.csv(union6,file="libro3.csv")

union7=merge(x=ibex,y=vibex,by="Date")
cor(union7$PX_LAST.x,union7$PX_LAST.y)
cor(union7[3315:3617,2],union7[3315:3617,5])

#regresion lineal
union7=union7[,c(2,5)]

for (i in c(nrow(union7):1)){
  union7[i,2]=union7[i-1,2]
}

```

```

}
union7=union7[-1,]

train_reg3=union7[c((nrow(union7)-48):(nrow(union7)-9)),]
test_reg3=union7[c((nrow(union7)-9):nrow(union7)),]

regresion3 = lm(train_reg3$PX_LAST.x ~ ., data = train_reg3)
summary(regresion3)
predicciones3<-predict(regresion3, newdata = test_reg3)
predicciones3
plot(predicciones3, type="l")

errores3<-test_reg3$PX_LAST.x-predicciones3
boxplot(errores3)
hist(errores3, breaks=20)
h<-nrow(test_reg3)

RMSE3<-sqrt(sum(errores3^2)/h)
RMSE3
MAE3<-sum(abs(errores3))/h
MAE3

#modelo garch
train_garch3=ts(IBEX_3[1:5375])
test_garch3=ts(IBEX_3[5376:5385])

arima.fit.auto3=auto.arima(train_garch3,
stepwise=FALSE,approx=FALSE,seasonal=TRUE, trace=TRUE)

arima.fit.auto3
coeftest(arima.fit.auto3)
tsdiag(arima.fit.auto3)

arima.fit3 = Arima(train_garch3, order=c(8,0,11),

```

```

        include.constant = FALSE)
arima.fit3
coefstest(arima.fit3)
tsdiag(arima.fit3)

residcuad3=resid(arima.fit3)^2
residcuad3
chartSeries(residcuad3)
ggtsdisplay(residuals(arima.fit3), lag.max = 100)
checkresiduals(arima.fit3)

train_garch.arch3=dynlm(residcuad3 ~ L(residcuad2), data = train_garch3)
summary(train_garch.arch3)

par(mfrow=c(1,2))
acf(residcuad3, main= "FAS Residuales al cuadrado")
pacf(residcuad3, main= "FAP Residuales al cuadrado")
par(mfrow=c(1,1))

ug3=ugarchspec(variance.model=list(model = "sGARCH", garchOrder = c(1,1)),
               mean.model = list(armaOrder = c(8,11), include.mean=T))
ug3
ugfit3=ugarchfit(spec = ug3, data = train_garch3)
ugfit3
ugfit3@fit$coef

ugvar3=ugfit3@fit$var
ugvar3

ugres3=(ugfit3@fit$residuals)^2
plot(ugres3, type = "l")
lines(ugvar3, col="green")
ugfore3=ugarchforecast(ugfit3, n.ahead = 10)
ugfore3

```