

## **PREDICCIÓN DE VOLATILIDAD CON LOS ÍNDICES DE VOLATILIDAD VIX Y VDAX**

El objetivo de este trabajo es estudiar la capacidad predictiva de los índices de volatilidad. Para el periodo 1992-2012, analizamos datos de los índices americanos VXO y VIX y también de los índices alemanes VDAX y VIX. Por otro lado estudiamos la predicción de volatilidad realizada, en relación con el tiempo restante al primer vencimiento de las opciones. Los resultados muestran que la capacidad predictiva a 30 días (45 días para VDAX), medida en términos de coeficiente de determinación  $R^2$ , no se ve afectada cuando consideramos diferentes periodos de tiempo respecto al vencimiento de opciones más cercano.

**Abstract:** The aim of this paper is to study how the volatility indexes can provide useful information content for the prediction of realized volatility. In this paper, using data for the USA (VXO and VIX) and the German indexes (VDAX and VIX), in the period 1992-2012, we measure how accurate are the volatility predictions of each volatility index, considering different times to the nearest options maturity. The results show an equal 30 day-ahead (45 day-ahead VDAX) forecasting power of the indexes for different times to the nearest options maturity, measured by the determinant coefficient  $R^2$ .

**Keywords:** índices de volatilidad, predicción, VIX, VDAX

**Autores:**

Javier Giner Rubio\*

Sandra Morini Marrero\*

Rafael Rosillo Cambor\*\*

\*Universidad de La Laguna.

Departamento de Economía Financiera y Contabilidad

\*\*Universidad de León.

Departamento de Administración de Empresas

**Dirección para correspondencia:**

Javier Giner Rubio

Facultad Economía, Empresa y Turismo

Campus de Guajara – ULL

Santa Cruz de Tenerife (38071)

Tf. 922 31 71 02; jginer@ull.es

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las mayores preocupaciones de los participantes en los mercados financieros es la elevada volatilidad de los precios de los activos. En este sentido, se han venido desarrollando diversos trabajos que tratan de predecir la volatilidad futura que va a registrar un subyacente con el fin de tratar de aprovechar mejor las oportunidades del mercado. Para ello se han empleado básicamente dos elementos que son fácilmente calculables a partir de los datos disponibles en el mercado: la volatilidad histórica que es una medida estadística de los movimientos de los precios del subyacente en el pasado y la volatilidad implícita que se calcula a partir de los precios de las opciones que se negocian en el mercado, considerando un modelo de valoración determinado y suponiendo conocidos el resto de parámetros que intervienen en ese modelo. Por un lado, la volatilidad histórica es una medida de cómo se han movido los precios en el pasado y su utilidad se basa en que se considera que esa volatilidad puede volver a repetirse en el futuro, y por otro lado, la volatilidad implícita se basa en que los precios de las opciones negociadas incorporan información acerca de cuál va a ser la volatilidad del subyacente hasta el vencimiento de la opción.

La mayor parte de los estudios indican que la volatilidad implícita es el mejor indicador de la volatilidad futura. En el mercado americano de opciones sobre el índice S&P 100 (OEX), Blair *et al* (2001) encuentran que la información verdaderamente relevante se encuentra en la volatilidad implícita, e incluso comprueban que los resultados obtenidos utilizando series históricas de alta frecuencia no mejoran demasiado su capacidad predictiva.

Sin embargo, dado que sobre un mismo subyacente y para un mismo vencimiento se negocian diferentes opciones (calls y puts) con diferentes precios de ejercicio, la caracterización de la volatilidad implícita supone un compromiso entre la información disponible y la operatividad de la definición que se emplee. El procedimiento habitual consiste en utilizar la volatilidad de la opción más cercana a vencimiento y más *at the money* (ATM). Para evitar distorsiones debidas a la cercanía del vencimiento de los contratos, el vencimiento más cercano pasa a ser el siguiente disponible cuando el número de días a vencimiento es inferior a una cifra determinada, aproximadamente una semana. Esta definición de volatilidad implícita (VI) supone varios problemas. El primero de ellos es que obliga a distinguir entre la VI de las opciones de compra y la VI de las opciones de venta. El segundo es que, utilizando las opciones “más en dinero” de entre las disponibles, queda abierta la posibilidad de generar series históricas en las que se entremezclen datos de opciones verdaderamente ATM con datos que no lo son tanto. Y el tercero y fundamental es que, siendo que la principal utilidad de la volatilidad implícita es su demostrada capacidad predictiva en el periodo hasta vencimiento, las series de volatilidad implícita ATM son difíciles de manejar por el hecho de que su periodo de aplicación va disminuyendo en la medida que el tiempo avanza. Si la volatilidad de hoy está referida a 25 días, la volatilidad de mañana lo estará para 24 días o la de la próxima semana estará referida para 18 días hasta vencimiento.

En este sentido, surge la idea de crear un índice de volatilidad que aglutine la información contenida en diferentes opciones, y que homogenice el periodo de predicción que puede asociarse a la volatilidad implícita. La idea de crear un índice de volatilidad a partir del precio de las opciones surgió en el mismo momento en que éstas se empezaron a negociar en 1973.

Desde entonces diversos autores han propuesto diferentes formas de calcular este índice hasta llegar a la propuesta del VIX en 1993. El VIX en su origen fue desarrollado por el

Chicago Board of Exchange CBOE para medir el nivel de volatilidad implícita del mercado. Posteriormente otros mercados de opciones han ido sumándose a esta iniciativa, Alemania, Rusia o Japón entre otros.

En 2003, CBOE cambia la metodología de cálculo de su índice de volatilidad y de forma generalizada el resto de mercados acaban adoptando esta metodología. En este sentido planteamos un primer objetivo a desarrollar en este trabajo, analizar si el cambio de metodología ha supuesto una mejora real en el poder predictivo del índice. Centramos nuestra atención en los índices de volatilidad del mercado americano y alemán, tanto en su versión inicial (VXO y VDAX respectivamente) como en la empleada en la actualidad (VIX y VIX, respectivamente), de los cuales se disponen de series históricas amplias que permiten comparar si el cambio en la metodología de cálculo del índice ha supuesto una mejora o no en la información proporcionada por el mismo en términos de predicción de la volatilidad realizada.

Por otro lado, Carr y Wu (2006) o Luo y Zhang (2012), entre otros han estudiado la información que contiene el índice de volatilidad respecto a la volatilidad realizada, encontrando que el índice proporciona más información que la volatilidad histórica o que las volatilidades obtenidas con algún modelo de volatilidad condicional. Sin embargo en todos estos trabajos, se establece la relación entre el índice y la volatilidad realizada al mismo plazo (30 días naturales). Luo y Zhang (2012) dan un paso más y consideran diferentes plazos tanto para el VIX como para la volatilidad realizada pero siempre estableciendo una relación de igualdad de vencimientos entre ambos valores. En este trabajo, proponemos cambiar el plazo de cálculo de la volatilidad realizada para tratar de determinar para qué periodo de cálculo de la misma el índice ofrece una mejor predicción, ya que el valor del índice no deja de ser una ponderación de las volatilidades implícitas de una serie de opciones cuyos vencimientos no coinciden con el periodo para el que se calcula el mismo.

Por último, y dado que los vencimientos considerados para el cálculo del índice se van desplazando a medida que pasa el tiempo, se quiere analizar si este desplazamiento, en concreto si el valor del vencimiento más cercano, afecta de alguna forma al poder predictivo del índice de volatilidad.

De este modo, el trabajo se estructura tal que en el siguiente apartado se explica brevemente el procedimiento de elaboración de los cuatro índices analizados (VXO, VIX, VDAX, VIX), se comenta brevemente su comportamiento histórico y siguiendo a Carr y Wu (2006) se realiza un pequeño análisis estadístico descriptivo de las series empleadas. En el apartado tres se demuestra que la capacidad predictiva de los índices de volatilidad es siempre superior a la capacidad predictiva de la volatilidad histórica o de la volatilidad condicionada calculada a través de modelos tipo GARCH. En ese mismo apartado abordamos el resto de objetivos propuestos: la determinación del periodo de predicción óptima de los índices de volatilidad estudiados, y la influencia de la fecha del primer vencimiento en la capacidad predictiva general del índice. Finalizamos a modo de conclusión destacando los resultados más relevantes obtenidos del análisis efectuado.

## **2. LOS ÍNDICES DE VOLATILIDAD EN LOS PRINCIPALES MERCADOS FINANCIEROS**

El primer mercado en introducir un índice de volatilidad fue el CBOE que adoptó el VIX en Febrero de 1993 como un indicador de la volatilidad de las opciones sobre el S&P 100 (OEX), basándose principalmente en la propuesta de Cox y Rubinstein (1985) en relación a la ponderación de vencimientos y precios de ejercicio. Más tarde, en

septiembre de 2003, se introdujo el nuevo VIX, calculado sobre el S&P 500 (SPX) y con una nueva metodología que emplea el precio de las opciones en vez de su volatilidad implícita para construir el índice.

Con el paso del tiempo diferentes países han ido incorporando índices de volatilidad relativos a sus mercados. Así, en el mercado alemán se calcula el VDAX desde 1994 de forma bastante similar al VIX antiguo, y a partir de 2007 paso a calcularse siguiendo la nueva metodología del nuevo VIX. Sobre el Nasdaq-100 CBOE calcula el VXN desde Diciembre de ese mismo año siguiendo la misma metodología que para el VIX. Desde Octubre de 1997, MONEP calculaba dos índices de volatilidad sobre el CAC-40, el VX1 y VX6, basándose en el trabajo de Brenner y Galai (1989), y desde 2007 utiliza la metodología del nuevo VIX para el cálculo del VCAC. Más recientemente, otros países como Canadá (TSX VIX), Japón (VXJ), Rusia (RTSVX), Australia (ASX VIX) o India (India VIX) han incorporado índices de volatilidad sobre sus mercados, siguiendo la misma metodología del CBOE para el VIX en su nueva versión.

## 2.1 Metodología para el cálculo de los índices de volatilidad

### 2.1.1. El VXO original

El VIX en su concepción original de 1993, que ha pasado a denominarse VXO, se calcula a partir de la volatilidad implícita de un conjunto de ocho opciones sobre el índice S&P 100, cuatro calls y cuatro puts, cercanas a una situación ATM dentro del primer y segundo plazo a vencimiento.

Como primer plazo a vencimiento se elige aquel con fecha de expiración más cercana y superior a siete días, ya que en general las opciones con un vencimiento menor a una semana pueden presentar niveles anómalos de volatilidad. El segundo plazo a vencimiento corresponde a la segunda fecha de expiración más cercana.

Para cada vencimiento se escogen dos precios de ejercicio (K) diferentes lo más cerca ATM posible: el que se encuentra justo por debajo del precio de contado del subyacente (S),  $K < S$ ; y el que se encuentra justo por encima de éste,  $K > S$ .

La volatilidad implícita, calculada con el modelo de Black-Scholes, es la volatilidad en días naturales anualizada sobre la base *actual/365*. En lugar de utilizar esta volatilidad directamente, CBOE ajusta estos valores a los *trading days* de forma aproximada:

$$\sigma_{trading} = \sigma_{calendar} \sqrt{\frac{T_{calendar}}{T_{trading}}}$$

donde  $T_{calendar}$  son los días naturales y  $T_{trading}$  son los días de negociación entre el momento actual y la fecha de vencimiento de la opción. CBOE calcula  $T_{trading}$  quitando dos días por cada siete días naturales a través de la siguiente expresión:  $T_{trading} = T_{calendar} - 2 \times ent(T_{calendar}/7)$ . Este ajuste eleva los niveles de volatilidad al considerar menos días hasta vencimiento.

A continuación se van promediando las volatilidades en pasos sucesivos hasta obtener el VXO. Así, en una primera etapa se obtienen cuatro subíndices (uno por cada vencimiento y precio de ejercicio) a partir de la media simple de cada par de opciones call y put de idénticas características.

Si denominamos  $\sigma_{i,j,k}$  a la volatilidad implícita donde:

$$i = \begin{cases} C \rightarrow \text{Call} \\ P \rightarrow \text{Put} \end{cases} \quad j = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{Vto. más próximo} \\ 2 \rightarrow \text{Vto. siguiente} \end{cases} \quad k = \begin{cases} A \rightarrow K > S \\ B \rightarrow K < S \end{cases}$$

obtendremos, para el vencimiento más cercano:

$$\sigma_{1,A} = \frac{\sigma_{C,1,A} + \sigma_{P,1,A}}{2} \quad \text{y} \quad \sigma_{1,B} = \frac{\sigma_{C,1,B} + \sigma_{P,1,B}}{2}$$

y para el siguiente más cercano:

$$\sigma_{2,A} = \frac{\sigma_{C,2,A} + \sigma_{P,2,A}}{2} \quad \text{y} \quad \sigma_{2,B} = \frac{\sigma_{C,2,B} + \sigma_{P,2,B}}{2}$$

Al establecer una media entre las volatilidades implícitas de calls y puts se logra en cierto modo mitigar posibles sesgos causados por la diferente velocidad de reacción de las primas de ambos tipos de opciones a los cambios en el subyacente; cuando el mercado se mueve muy rápidamente al alza se produce un sesgo positivo (negativo) en las call (put).

El siguiente paso consiste en calcular la posición ATM de cada vencimiento a partir de las medias anteriores:

$$\sigma_1 = \sigma_{1,A} \left( \frac{S - K_B}{K_A - K_B} \right) + \sigma_{1,B} \left( \frac{K_A - S}{K_A - K_B} \right) \quad \text{y} \quad \sigma_2 = \sigma_{2,A} \left( \frac{S - K_B}{K_A - K_B} \right) + \sigma_{2,B} \left( \frac{K_A - S}{K_A - K_B} \right)$$

donde  $K_B$  ( $K_A$ ) es el precio de ejercicio por debajo (arriba) del precio del subyacente,  $S$ .

Por último, hay que promediar estos dos valores para que representen un periodo estandarizado de 22 sesiones, lo que se consigue interpolando linealmente:

$$\text{VXO} = \sigma_1 \left( \frac{T_2 - 22}{T_2 - T_1} \right) + \sigma_2 \left( \frac{22 - T_1}{T_2 - T_1} \right)$$

donde  $T_1$  es el número de días hasta el primer plazo de vencimiento, el más cercano y  $T_2$  es el número de días hasta el siguiente más cercano.

### 2.1.2 El nuevo VIX

El 23 de Septiembre de 2003 el CBOE adoptó una nueva metodología de cálculo para el índice VIX. Este cambio presenta dos principales novedades: 1) sustituir el índice S&P 100 por el S&P 500, atendiendo a la mayor liquidez de este último; 2) modificar el método de cálculo sustituyendo el uso de volatilidades implícitas por una suma ponderada de precios de opciones out-the-money.

La expresión que permite este cálculo es la siguiente:

$$\sigma^2 = \frac{2}{T} \sum_i \frac{\Delta K_i}{K_i^2} e^{rT} Q(K_i) - \frac{1}{T} \left( \frac{F}{K_o} - 1 \right)^2 \quad (\text{I})$$

donde:

- $\sigma$  es el VIX en tanto por uno
- $T$  es el tiempo a vencimiento de las opciones utilizadas para el cálculo
- $F$  es el precio forward que se deriva de los precios de las opciones
- $K_o$  es el primer precio de ejercicio por debajo del precio forward  $F$
- $K_i$  es el precio de ejercicio de la  $i^{\text{th}}$  opción out-the-money; una opción call si  $K_i > K_o$  y una opción put si  $K_i < K_o$ ; se usan ambas si  $K_i = K_o$
- $\Delta K_i$  intervalo entre precios de ejercicio calculado como la media entre los precios de ejercicio anterior y posterior a  $K_i$ ,  $\Delta K_i = \frac{K_{i+1} - K_{i-1}}{2}$ . Para los precios de ejercicio extremos por arriba y por abajo se utilizan directamente la resta respecto al precio de ejercicio más cercano.
- $r$  tipo de interés libre de riesgo para el tiempo restante a vencimiento
- $Q(K_i)$  es el precio intermedio entre los precios de compra y de venta (bid-ask) de la opción de precio de ejercicio  $K_i$

El VIX mide la volatilidad esperada del índice S&P 500. Para su cálculo utilizamos los precios de las opciones del vencimiento más cercano con al menos una semana a vencimiento y el siguiente correspondiente. Por último realizamos la media ponderada de las varianzas del primer y segundo vencimiento,  $T_1\sigma_1^2$  y  $T_2\sigma_2^2$ , para determinar por interpolación la varianza de 30 días buscada:

$$Var_{30} = T_1\sigma_1^2 \left( \frac{T_2 - 30}{T_2 - T_1} \right) + T_2\sigma_2^2 \left( \frac{30 - T_1}{T_2 - T_1} \right)$$

Que se ajusta para obtener el VIX<sup>1</sup>:

$$VIX = 100\sqrt{Var_{30}}\sqrt{12}$$

### 2.1.3 El VDAX y el VIX

El cálculo del VDAX es bastante similar al del VXO, aunque difiere en dos aspectos. En primer lugar, el periodo de referencia es de 45 días naturales por lo que no se realiza el ajuste de volatilidad a días de negociación que se realiza en el VXO. Y en segundo lugar, el precio del subyacente para el cálculo de la posición ATM es el precio forward del subyacente para el vencimiento considerado.

Por tanto, para calcular el índice de volatilidad es requisito previo calcular el precio a plazo del DAX (índice bursátil del mercado alemán). Para ello, si existen contratos de futuros sobre el DAX cuyo vencimiento coincida con la fecha requerida se coge el precio de estos como precio a plazo del DAX, en caso contrario se calcula interpolando linealmente los precios de los futuros precedente y siguiente en vencimiento.

---

<sup>1</sup> Se puede obtener más información sobre el cálculo del nuevo VIX consultando las indicaciones de elaboración facilitadas por CBOE, [www.cboe.com](http://www.cboe.com), o Demeterfi *et al* (1999) o Carr y Wu (2006).

A este respecto y a efectos de determinar qué opciones elegir para la elaboración del índice, hay que considerar que el VDAX se calcula para un periodo constante de 45 días naturales por lo que se escogen aquellos contratos cuya fecha de expiración esté lo más próxima por defecto y por exceso de ese plazo. Para cada vencimiento, de forma similar al VXO, se eligen cuatro opciones (2 call y 2 put) cuyo precio de ejercicio se encuentra lo más cerca por encima y por debajo del precio forward calculado previamente. A estas opciones se les calcula la volatilidad implícita y se procede a calcular los diferentes subíndices de volatilidad, uno para cada vencimiento, promediando linealmente las dos opciones (call y put) de precio de ejercicio más alto y las de precio de ejercicio más bajo, igual que para el VXO. Y se vuelve a interpolar linealmente entre estas dos medias para hallar el valor de la posición ATM de cada vencimiento. De igual forma que para el VXO, a partir de estos dos subíndices se calcula el VDAX para un periodo constante de 45 días:

$$\text{VDAX} = \sigma_1 \left( \frac{T_2 - 45}{T_2 - T_1} \right) + \sigma_2 \left( \frac{45 - T_1}{T_2 - T_1} \right)$$

donde  $T_1$  es el número de días hasta el primer vencimiento considerado y  $T_2$  es el número del segundo.

Por su parte el VIX se calcula de forma idéntica al VIX por lo que no se requiere mayor explicación.

## 2.2 Análisis histórico de las series

Utilizando datos históricos de precios de cierre de opciones sobre el índice S&P 500 y sobre el índice S&P 100, el CBOE ha calculado los valores del VIX desde 1990 y del VXO desde 1987, y en la actualidad todavía calcula ambos índices. Deutsche Börse, para el mercado alemán, ha calculado los valores del VDAX y del VIX desde 1992 y, al igual que el CBOE, sigue difundiendo ambos índices.

Se ha elegido como periodo de estudio el intervalo común que abarca desde 2 de abril de 1992 al 30 de diciembre de 2011, lo que supone 4997 días de negociación. Además de los 4 índices de volatilidad, analizamos la volatilidad realizada a 30 y 45 días de los índices de mercado referidos. Para el SP 100 (VXO), SP 500 (VIX) y DAX (VIX) calculamos la volatilidad realizada a 30 días de calendario:

$$\sigma_{t+1,t+30}^R = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (r_{t+k} - \bar{r}_{t,t+30})^2} \quad (2.1)$$

donde  $r_{t+k} = \ln \frac{S_{t+k}}{S_{t+k-1}}$  es la rentabilidad diaria del índice en el momento  $t+k$ ,  $\bar{r}_{t,t+30}$  es la rentabilidad media durante los 30 días naturales, y  $m$  el número efectivo de días de negociación, que será diferente para cada ventana de tiempo, siendo su valor más frecuente 22 días de negociación. Este resultado de volatilidad diaria es anualizado multiplicando por la raíz de 250.

Como el VDAX considera un horizonte temporal de 45 días, comparamos este índice de volatilidad con la volatilidad realizada a 45 días de calendario, calculada como la desviación estándar de las rentabilidades en una ventana de 45 días de calendario:

$$\sigma_{t+1,t+45}^R = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (r_{t+k} - \bar{r}_{t,t+45})^2} \quad (2.2)$$

y donde  $m$  es el número efectivo de días de negociación en cada caso y cuyo valor más frecuente observado en el DAX 30 ha sido 33 días.

En otros estudios consultados, por ejemplo Carr y Wu (2006) en el mercado americano, utilizan directamente un horizonte temporal fijo de 22 días de negociación. Dado que la definición del VIX es con 30 días naturales de calendario, hemos optado por utilizar este método de cálculo, más cercano a la definición exacta.

TABLA 1. PRINCIPALES ESTADÍSTICOS DE ÍNDICES DE VOLATILIDAD Y VOLATILIDAD REALIZADA

Statistics	USA				Germany			
	RV - S&P500	VIX	RV S&P100	VXO	RV - DAX	VIX	RV - DAX	VDAX
<b>Mean</b>	16.39	20.59	16.6	21.26	20.73	23.76	20.91	22.27
<b>Stand.Dev.</b>	10.17	8.59	10.1	9.38	10.99	10.22	10.65	9.04
<b>Median</b>	13.93	19.17	13.95	19.92	17.57	21.21	17.89	20.1
<b>Kurtosis</b>	10.92	6.26	9.61	5.53	3.65	2.84	3.22	2.27
<b>Skewness</b>	2.66	1.91	2.48	1.77	1.73	1.56	1.67	1.44
<b>Minimum</b>	4.73	9.31	4.5	9.04	4.68	9.35	5.83	9.36
<b>Maximum</b>	82.62	80.86	80.9	87.24	80.65	83.23	75.49	74

En la Tabla 1 se resumen los principales estadísticos de los 4 índices de volatilidad (VIX, VXO, VIX y VDAX), y sus correspondientes resultados de volatilidad realizada en 30-días ( 45-días para el VDAX) sobre los índices de referencia correspondientes.

En el mercado americano se puede observar que la media muestral de la volatilidad realizada en el S&P 100 es ligeramente superior que la del S&P 500. La media muestral del VXO es ligeramente superior a la del VIX, pero como mencionan Carr y Wu (2006), el índice VXO presenta un sesgo en forma de incremento artificial debido a la conversión a días de negociación a partir de los días naturales. Comparando el índice de volatilidad con la correspondiente volatilidad realizada, encontramos que en promedio, el VIX es aproximadamente 4% mayor que la volatilidad realizada en el S&P 500, y el VXO es aproximadamente 5% mayor que la correspondiente volatilidad realizada en el S&P 100.

Respecto al mercado alemán, la media de volatilidad realizada a 45 días es ligeramente superior a la de 30 días. La media muestral del VIX es aproximadamente 3% mayor que la media de la volatilidad realizada.

Finalmente, también es destacable que los valores mínimos de los índices de volatilidad rondan el 9% mientras que la volatilidad mínima realizada en el mercado se encuentra en torno al 5%. Así mismo, destacan las menores asimetría y curtosis del mercado alemán respecto al americano. En general, los niveles de volatilidad muestran asimetría positiva y exceso de curtosis, lo que puede ser explicado por la llegada de importantes saltos de información en las series (Eraker et al, 2003).

Los índices de volatilidad se consideran un barómetro del miedo de los inversores. Cuanto mayor es el miedo con más velocidad (pendiente) se mueven los precios en el mercado y mayor es el valor del índice que recoge la volatilidad del mismo. En este sentido, y tomando como ejemplo el VIX y el S&P 500 (Gráfico 1) para el periodo 2000-2012 se observan claramente tres periodos diferenciados:

1) entre los años 2000 y 2003 estalla definitivamente la burbuja tecnológica y a medida que el índice S&P 500 retrocede desde niveles máximos históricos cerca de 1400 puntos, el índice VIX aumenta desde 20 hasta 45 en agosto del 2002.

2) entre los años 2003 y 2007 el índice SP500 recupera lentamente los valores máximos del periodo anterior, y en esa etapa de crecimiento y tranquilidad (al menos ausencia de malas noticias), el VIX disminuye hasta niveles del 10%, valores cercanos al mínimo histórico registrado el 22 de Diciembre de 1993: 9.31.

3) entre los años 2007 y 2010 a medida que empiezan las caídas bursátiles el índice VIX aumenta hasta alcanzar un máximo de 80.86 el 20-Nov-2008.



**Figura 1.** VIX y S&P 500, Precios de cierre diarios.

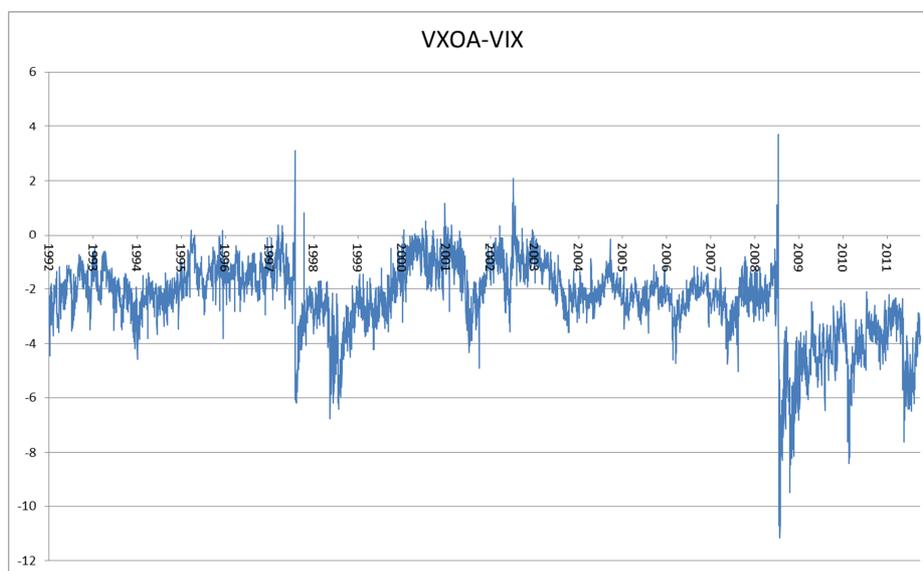
Efectivamente, Whaley (2009) comprueba que los cambios en el VIX son mayores cuando baja el mercado que cuando sube; para comprobar que efectivamente el VIX es más un barómetro del miedo de los inversores que una medida de optimismo plantea la siguiente regresión lineal:

$$RVIX_t = \beta_o + \beta_1 RSPX_t + \beta_2 RSPX_t^- + \varepsilon_t$$

Donde RVIX es la variación diaria del índice VIX, RSPX es la rentabilidad diaria del índice S&P 500 y  $RSPX^- = \min(0; RSPX_t)$ .

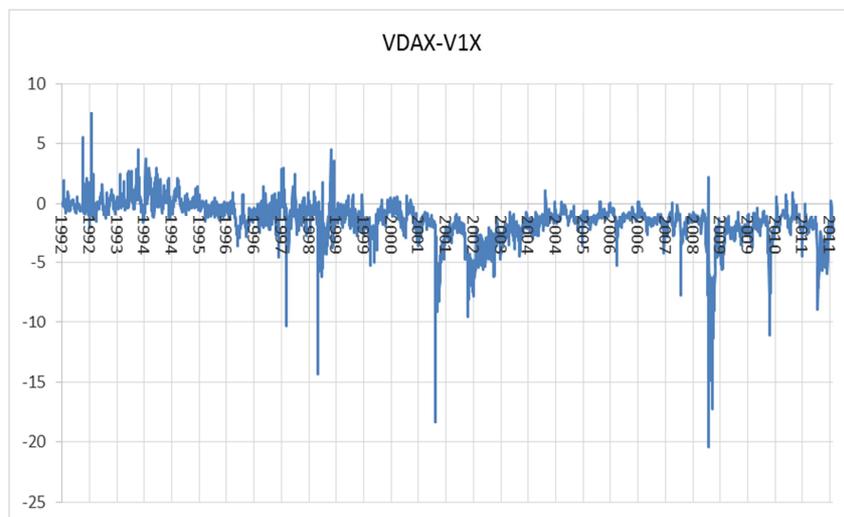
En las regresiones efectuadas para diferentes periodos temporales por diferentes autores como Whaley (2009) o Liu (2012), todos los coeficientes son significativos.  $\beta_0$  es prácticamente cero, indicando que si el mercado no se mueve el índice tampoco lo hará. Los coeficientes  $\beta_1$  y  $\beta_2$  son ambos negativos, y reflejan claramente, no sólo la relación inversa entre los movimientos del VIX y los movimientos del S&P 500, sino también la asimetría de estos movimientos.  $\beta_1$  toma valores en torno a -3 y  $\beta_2$  en torno a -1

En la figura 2 presentamos las diferencias entre los índices VXO y VIX para el periodo 2 de abril de 1992 a 30 de diciembre de 2011, observándose que las diferencia (VXO – VIX) entre ambos es pequeña, presentando durante ese periodo una media de 0.66, con una diferencia máxima a favor del VXO de 16.04 en octubre de 2008 y a favor del VIX de 3.13 en mayo de 2010. Además, los cambios en ambos índices coinciden en dirección un 83% de las ocasiones.



**Figure 2.** Differences (VXO-VIX) in the period April 2th 1992 to December 30th 2011.

El mismo análisis se realiza entre el VDAX y VIX, cuyas diferencias (VDAX – VIX) quedan representadas gráficamente en la figura 3. Los resultados muestran que la diferencia media es de -1.48, siendo la diferencia máxima a favor del VDAX de 7.52 en octubre de 1992 y de 20.43 a favor del VIX en octubre de 2008. Por tanto, claramente las diferencias entre el índice antiguo y nuevo en el mercado alemán es más pronunciada que en el mercado americano. La coincidencia del sentido del movimiento es alta (83%).



**Figure 3.** Differences (VDAX-V1X) in the period April 2th 1992 to December 30th 2011.

Para valorar si el cambio de metodología proporciona valores realmente diferentes se efectúa un test de diferencias de medias, donde la hipótesis nula es que las diferencias observadas entre los valores antiguos y nuevos de los índices de volatilidad de cada mercado son nulas y la alternativa que no lo son.

Para USA, el test revela que no se puede aceptar la hipótesis nula, por tanto, existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores del VXO y los del VIX. (p-value= 0.002151). Para el mercado alemán, se obtiene el mismo resultado (p-value=1.495e-15).

Según estos resultados, el cambio de metodología ha supuesto diferencias entre el antiguo y el nuevo índice, tanto para el mercado americano como para el alemán. Diferencias no muy significativas, pero que hay tener en cuenta. Sin embargo, lo que más nos interesa es comprobar si estos cambios permiten mejorar las estimaciones de volatilidad futura. En el apartado siguiente analizaremos más en detalle la capacidad predictiva de los índices de volatilidad.

### 3. PREDICCIÓN DE LA VOLATILIDAD

El objetivo en esta sección es estudiar de qué manera los índices de volatilidad pueden aportar contenido informacional para la predicción de volatilidad, y para ello vamos a comparar su capacidad predictiva con dos modelos en particular: el que se obtiene a partir de la volatilidad histórica y otro basado en un esquema de volatilidad condicional GARCH(1,1).

Actualmente parece haber consenso respecto a la afirmación de que existe un importante contenido informacional en la volatilidad implícita de las opciones (Christoffersen, 2003; Carr y Wu, 2006). Sin embargo, autores como Canina y Figlewski (1993) con datos del S&P 100, afirman no observar correlación alguna entre la volatilidad implícita *at the money* y la volatilidad futura, por lo que proponen la inclusión de la volatilidad histórica como explicativo de la volatilidad realizada. De difícil explicación pueden considerarse estos resultados, aunque, tal como apunta Blair *et al* (2001), existen serios indicios a pensar que las series de volatilidad implícita

utilizadas en éste y otros trabajos (por ejemplo Day y Lewis (1992) o Christensen y Prabhala (1998)), de alguna manera, contienen importantes errores de medida cuya magnitud se desconoce. Efectivamente, muchas pueden ser las razones que dan lugar a esta errónea especificación de la volatilidad implícita, aunque casi todas pueden encontrarse en la misma dificultad de los datos: opciones nunca totalmente *at-the-money*, bid/ask muy grandes comparados con los precios de las opciones, distorsiones en la volatilidad por el impacto de la comisiones, horizontes de tiempo cambiantes conforme disminuye la vida de la opción, etc. Otra posible fuente de errores es el uso de un modelo de valoración de opciones inapropiado que enturbie la medida de la volatilidad implícita, por ejemplo, valorar opciones de tipo americano, como es el caso de las opciones S&P 100, con un modelo de opciones europeas.

Sin que llegue a ser la solución a todos los problemas, todo parece apuntar a que la introducción del VIX o índices de volatilidad en general puede mitigar estos errores de medida.

Aunque todas estas consideraciones parecen apuntar a un mejor comportamiento del VIX frente a otros modelos habitualmente utilizados en la predicción de volatilidad, serán los resultados experimentales los que permitan manifestarse en un sentido u otro.

Los datos utilizados en esta parte del trabajo son, para el mercado americano, las rentabilidades diarias del S&P 100 y del S&P 500, junto con sus índices correspondientes, VXO y VIX. Para el mercado alemán, las rentabilidades diarias del índice DAX, junto con los índices VDAX y VIX. Analizamos el periodo común 1992-2012, y comparamos la volatilidad realizada de las rentabilidades con las predicciones de diferentes modelos implementados.

### 3.1. MODELOS DE PREDICCIÓN

No se puede decir que exista un consenso generalizado acerca de cómo medir la volatilidad realizada, debido a que se trata de un no observable. Sin embargo, la tendencia habitual es calcular la volatilidad realizada a través de la desviación estándar de las rentabilidades futuras, tal como se desprende de algunos de los principales trabajos realizados sobre predicción de volatilidad, entre ellos Andersen y Bollerslev (1998), Andersen *et al* (2001a), Andersen *et al* (2001b) y Blair *et al* (2001).

Nuestro objetivo es evaluar la utilidad de los índices de volatilidad estudiados en el apartado anterior como predictores de la volatilidad realizada en el plazo al que hace referencia el índice. Para el caso de  $T$  días de negociación tendríamos:

$$\sigma_{t+1,t+T}^R = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (r_{t+k} - \bar{r}_{t,t+T})^2}$$

donde  $r_{t+k}$  es la rentabilidad diaria del índice de mercado correspondiente (S&P 100, S&P 500 o DAX) en el momento  $t+k$  y  $\bar{r}_{t,t+T}$  es la rentabilidad media de las  $T$  sesiones consideradas, siendo  $T$  igual a 30 o 45 días de calendario, según el índice analizado, y  $m$  el número efectivo de días de negociación.

Vamos a analizar los tres modelos de regresión siguientes:

$$\sigma_{t+1,t+T}^R = \alpha + \beta \sigma_{t-(T-1),t}^H + u_t \quad (3.1)$$

$$\sigma_{t+1,t+T}^R = \alpha + \beta \sigma_{t+1,t+T}^G + u_t \quad (3.2)$$

$$\sigma_{t+1,t+T}^R = \alpha + \beta \text{VIX}_t + u_t \quad (3.3)$$

donde  $\sigma_{t-(T-1),t}^H$  es la volatilidad histórica de las  $T$  sesiones anteriores al cierre del mercado el día  $t$ ,  $\sigma_{t+1,t+T}^G$  es la volatilidad condicional GARCH(1,1) predicha para  $T$  días adelante y  $\text{VIX}_t$  es el índice de volatilidad implícita presente al cierre del mercado el día  $t$ .

Las 3 ecuaciones de regresión anteriores se basan en la información que aportan diferentes predictores de la volatilidad, y que pasamos a describir brevemente a continuación.

El primer de los modelos utilizados, basado en la volatilidad histórica, ha sido elegido casi como referencia para situar los valores obtenidos en un contexto comparativo. La definición de volatilidad histórica utilizada es la desviación estándar de las  $T$  rentabilidades diarias, por lo que para analizar el primer modelo (3.1) es necesario calcular la desviación estándar de las  $T$  rentabilidades diarias  $r_t, r_{t-1}, \dots, r_{t-(T-1)}$  anteriores al día  $t$ , incluyendo la rentabilidad correspondiente al cierre del día actual:

$$\sigma_{t-(T-1),t}^H = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (r_{t-k+1} - \bar{r}_{t-(T-1),t})^2} \quad (3.4)$$

Para los primeros días del año 1992 se utilizaron las últimas cotizaciones del año 1991 para completar la serie en sus valores iniciales. Los resultados son anualizados multiplicando por  $\sqrt{250}$ .

En el segundo modelo (3.2) se considera el esquema GARCH(1,1) propuesto por Bollerslev (1986). Para ello, suponemos que las rentabilidades se distribuyen según el modelo  $r_t = C + \varepsilon_t$  donde  $\varepsilon_t$  sigue una  $N(0, \sigma_t^2)$ ,  $C$  es una constante y  $\sigma_t$  es la volatilidad condicional caracterizada por:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \quad (3.5)$$

Una vez estimado el modelo, para cada  $t$  podemos realizar predicciones de la varianza condicional para los próximos  $T$  días,  $\sigma_{t+1}^2, \sigma_{t+2}^2, \dots, \sigma_{t+T}^2$ , de forma que a través de la raíz cuadrada de su media aritmética obtendremos el valor esperado de la volatilidad realizada según este predictor,  $\sigma_{t+1,t+T}^G = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{k=1}^T \sigma_{t+k}^2}$ . Este resultado es anualizado posteriormente multiplicando por  $\sqrt{250}$ .

Existen otros modelos de volatilidad condicional, tales como el GJR [Glosten *et al* (1993)] que permiten considerar asimetrías en el comportamiento de la volatilidad ante *shocks* positivos y negativos. También es posible incluir en el modelo efectos de estacionalidad que mejoren la caracterización de la serie. Sin embargo, en este trabajo no vamos a seguir esta línea de análisis tan intenso, aunque somos conscientes de que las especificaciones del modelo son susceptibles de refinadas adaptaciones.

En cuanto al tercer modelo (3.3) no es necesario efectuar cálculos previos porque se dispone de la serie de datos de los índices de volatilidad correspondientes.

### 3.2 PREDICIENDO LA VOLATILIDAD REALIZADA EN EL PERIODO 1992-2012

Tal como dijimos previamente, el periodo de estudio es el comprendido entre abril de 1992 y diciembre de 2011, lo que equivale a una muestra con un total de 4997 días de negociación. Con estos datos se obtienen los parámetros de los diferentes modelos y se evalúa la capacidad predictiva de los mismos.

La parámetros resultantes de la estimación del modelo GARCH(1,1) de la ecuación (3.5) para el periodo de estudio (1992-2012), necesarios para el modelo de la ecuación (3.2), se presentan en la Tabla 2. El análisis del nivel de correlación de los residuos estandarizados utilizando el estadístico Ljung-Box, así como los estadísticos *t*, son positivos respecto a la modelización realizada.

**Tabla 2.** Parámetros estimados y diagnósticos del modelo GARCH (1,1) para S&P 100, S&P 500 y DAX en el periodo 1992-2012.

Índice	<i>C</i>	$\omega$	$\alpha_1$	$\beta_1$	LBQTest	LBQTest2
S&P 100	0.00053 (4.5)	9.8E-07 (8.2)	0.0795 (16.8)	0.9144 (179.7)	40.3	25.1
S&P 500	0.00053 (4.5)	8.9E-07 (7.5)	0.0780 (16.1)	0.9167 (174.7)	40.7	21.3
DAX	0.00071 (4.7)	2.3E-06 (7.8)	0.0897 (14.5)	0.9002 (137.8)	32.7	25.0

*Nota:* LBQTest y LBQTest2: Estadísticos Ljung-Box Q(20) para los residuos estandarizados y los residuos estandarizados al cuadrado respectivamente (31.4 es el valor crítico al 5%)

En la Tabla 3 pueden observarse los parámetros estimados por mínimos cuadrados para cada uno de los modelos propuestos, así como los estadísticos *t* correspondientes. Éstos han sido calculados mediante el método de Newey y West (1987), atendiendo a la normalidad de los residuos  $u_t$  de las regresiones (3.1), (3.2) y (3.3).

**Tabla 3.** Predicción de volatilidad realizada mediante los modelos de volatilidad histórica VH, volatilidad condicional GARCH(1,1), índice de volatilidad e índice de volatilidad & GARCH(1,1), ecuaciones (3.1) a (3.3)

<i>Mercado</i>	<i>Modelo</i>	$\alpha$		$\beta$		$R^2$ ( <i>in-sample</i> )
S&P 100	VH	4.369	(23.3)	0.737	(76.4)	0.540
	GARCH(1,1)	0.978	(4.7)	0.897	(83.6)	0.584
	VXO	-1.353	-(6.1)	0.845	(89.2)	<b>0.615</b>
S&P 500	VH	4.135	(22.6)	0.748	(78.9)	0.556
	GARCH(1,1)	0.972	(4.8)	0.896	(86.0)	0.598
	VIX	-2.651	-(11.3)	0.925	(88.2)	<b>0.610</b>
DAX (45d)	VH	6.621	(27.6)	0.689	(66.8)	0.472
	GARCH(1,1)	0.661	(2.3)	0.924	(76.8)	0.541
	VDAX	0.608	(2.4)	0.912	(86.3)	<b>0.598</b>
DAX (30d)	VH	5.702	(25.1)	0.728	(74.9)	0.529
	GARCH(1,1)	0.236	(0.9)	0.943	(83.3)	0.582
	VX1	0.234	(1.0)	0.863	(95.2)	<b>0.645</b>

*Nota:* Estadístico  $t$  de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  calculado según el método de Newey y West (1987). En negrita aparecen los mejores valores de  $R^2$  dentro de cada mercado.

De los resultados, podemos destacar que para los diferentes mercados la mejor estimación se obtiene siempre utilizando como regresor el índice de volatilidad correspondiente. Para el mercado americano, la nueva construcción del índice no mejora el poder predictivo de la antigua, obteniendo ambas regresiones un coeficiente de determinación ajustado similar. En ambos casos el término independiente es negativo confirmando los resultados del análisis descriptivo realizado previamente, en el que la volatilidad realizada era en media inferior al valor del índice de volatilidad correspondiente.

En cuanto al mercado alemán, sí que la nueva metodología representada por el índice VIX mejora la predicción respecto al VDAX. En este caso el término independiente es positivo ya que tal y como vimos anteriormente el valor de la volatilidad realizada era en media superior al valor del índice correspondiente.

Aunque las tres variables predictoras (volatilidad histórica, volatilidad condicional e índice de volatilidad) han sido consideradas dentro de un esquema regresivo univariante, también podrían plantearse modelos de regresión mixtos, por ejemplo un modelo de regresión que incluya la volatilidad condicional y la volatilidad implícita, con lo que se intenta aunar lo mejor de cada conjunto de información. Sin embargo, las pruebas realizadas en este sentido no han supuesto mejoras significativas de mención y por ese motivo no las presentamos en el texto, por lo que podemos concluir en destacar el relevante contenido informacional de los índices de volatilidad.

Otra posible línea de acción es la propuesta por Blair *et al* (2001) que realizan las predicciones basándose en el VIX pero considerando una regresión de orden infinito que utiliza las observaciones pasadas del índice, no sólo la contemporánea. Todo este tipo de estudios deja abierta la puerta a futuras líneas de investigación en torno a este tema que deberán ser evaluadas en el futuro.

### 3.3. Capacidad predictiva en relación al primer vencimiento

Como se recoge en el apartado 2, los índices de volatilidad se calculan ponderando linealmente las varianzas calculadas para el primer y segundo vencimiento más cercano, salvo en el caso del VDAX que al ser a más largo plazo en ocasiones utiliza el segundo y tercer vencimiento más cercano.

En este apartado queremos responder a la pregunta de si los índices de volatilidad predicen mejor o peor en función del número de días que faltan hasta el primer vencimiento más cercano,  $T_1$ , y del número de días que faltan hasta el segundo vencimiento más cercano,  $T_2$ .

Hay que tener en cuenta que la fecha de 1er vencimiento más cercano deja de utilizarse, para evitar distorsiones de precios, cuando faltan menos de 7 días a vencimiento. En este momento el segundo vencimiento pasa a ser el primer vencimiento. Por lo tanto, el menor tiempo posible hasta el primer vencimiento es 7 días.

Tanto en el mercado americano como en el alemán el vencimiento de opciones se produce el 3er viernes hábil de cada mes. Esta característica condiciona el valor máximo que puede tomar el número de días que faltan hasta el primer vencimiento más cercano.

	L	M	X	J	V	S	D		L	M	X	J	V	S	D
					1	2	3							1	2
	4	5	6	7	8	9	10		3	4	5	6	7	8	9
	11	12	13	14	15	16	17		10	11	12	13	14	15	16
	18	19	20	21	22	23	24		17	18	19	20	21	22	23
	25	26	27	28	29	30	31		24	25	26	27	28	29	30
									31						
	Earlier Settlement on 15th day								Latter Settlement on 21th day						

Figure 4. Ejemplo de meses con vencimiento más temprano y más tardío.

Como se aprecia en la figura 4, cuando el mes empieza en viernes día 1, tenemos un mes con vencimiento muy cercano, el 3er viernes será día 15. Cuando el día 1 es sábado, obtenemos un mes con vencimiento muy tardío, el 3er viernes sería el día 21. Estos son los límites en los que se puede mover la fecha del vencimiento mensual de opciones, entre el día 15 y el día 21 del mes.

El mayor tiempo posible hasta el primer vencimiento es 39 días, lo que ocurre cuando nos encontramos con un mes al que, después del vencimiento, le quedan todavía 2 semanas de calendario. De esta forma tenemos que, el primer lunes en el que el 1er vencimiento ya es en el próximo, faltan 6 semanas (42-1 días) menos 1 fin de semana, lo que son los 39 días.

La cuestión es que el VIX se construye con la información de opciones referidas a 2 vencimientos diferentes. Suponiendo que el 2º vencimiento  $T_2$  se produce 30 días después del 1er vencimiento, podemos encontrar un 1er y un 2º vencimiento en 7 y 37

días o por el contrario de 39 y 69 días respectivamente (suponiendo que entre el primer y el segundo vencimiento median exactamente 30 días). Las ponderaciones de ambos vencimientos serán iguales cuando falten 15 y 45 días respectivamente, como se observa en la tabla 4.

T1	T2=T1+30	W1=(T2-30)/(T2-T1)	W2=(30-T1)/(T2-T1)
7	37	0.23	0.77
8	38	0.27	0.73
9	39	0.30	0.70
10	40	0.33	0.67
11	41	0.37	0.63
14	44	0.47	0.53
15	45	0.50	0.50
16	46	0.53	0.47
17	47	0.57	0.43
18	48	0.60	0.40
21	51	0.70	0.30
22	52	0.73	0.27
23	53	0.77	0.23
24	54	0.80	0.20
25	55	0.83	0.17
28	58	0.93	0.07
29	59	0.97	0.03
30	60	1.00	0.00
31	61	1.03	-0.03
32	62	1.07	-0.07
35	65	1.17	-0.17
36	66	1.20	-0.20
37	67	1.23	-0.23
38	68	1.27	-0.27
39	69	1.30	-0.30

**Tabla 4.** Ponderaciones cuando T2=T1+30

La pregunta es si el índice VIX predice mejor para unas combinaciones de tiempos  $T_1$ - $T_2$  que para otras. A la vista de la tabla anterior parece razonable suponer que la mejor calidad informativa de las opciones se produce cuando  $T_1$  es cercano a 30, pues coincide  $T_1$  con el vencimiento de referencia del VIX, y además se supone que habrá mucha más liquidez y negociación en las opciones de  $T_1$  que en las opciones de  $T_2$ , contribuyendo a una mejor información.

Para contrastar esta hipótesis se efectúa la regresión del modelo (3.3), distinguiendo en 25 regresiones diferentes agrupando para cada uno de los posibles tiempos  $T_1$ , donde  $T_1 \in [7,39]$  días. Por lo que se efectúan 20 diferentes regresiones<sup>2</sup>:

$$\sigma_{t+1,t+22}^{R,T_1} = \alpha + \beta \text{VIX}_t^{T_1} + u_t \quad (3.6)$$

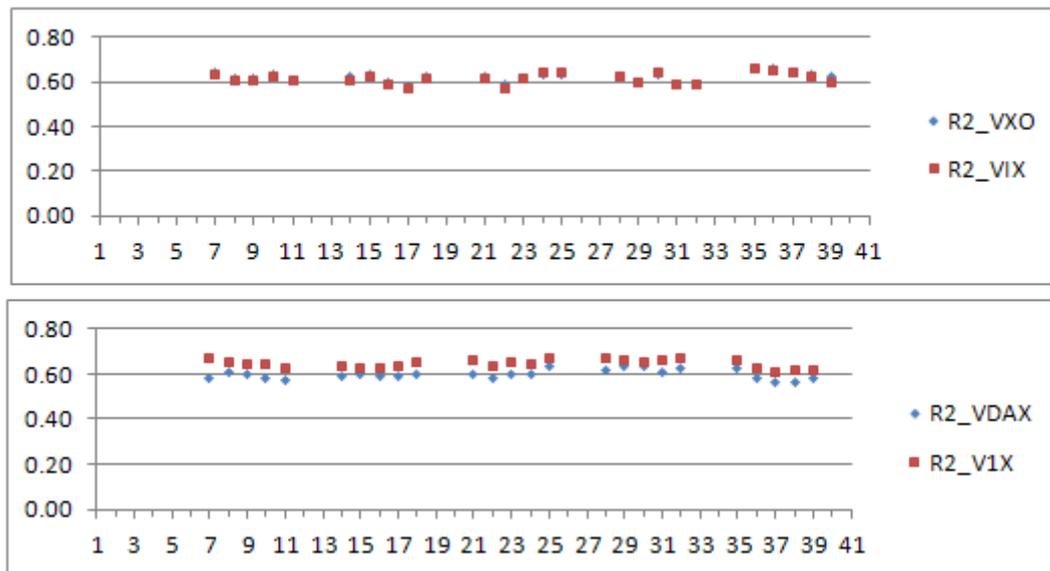
de manera que agrupamos datos de VIX con  $T_1 \in [7,39]$  con sus correspondientes volatilidades realizadas.

<sup>2</sup> Los Tnear entre 35 y 39 no se analizan por no tener suficientes observaciones.

T near	7	8	9	10	11
R <sup>2</sup> VIX	0.66	0.62	0.61	0.62	0.61
R <sup>2</sup> VDAX	0.68	0.65	0.64	0.64	0.62
N obs.	128	132	132	132	130
T near	14	15	16	17	18
R <sup>2</sup> VIX	0.6	0.62	0.56	0.53	0.59
R <sup>2</sup> VDAX	0.61	0.61	0.6	0.61	0.63
N obs.	128	127	128	127	123
T near	21	22	23	24	25
R <sup>2</sup> VIX	0.59	0.54	0.6	0.62	0.62
R <sup>2</sup> VDAX	0.64	0.63	0.65	0.62	0.65
N obs.	125	128	127	128	124
T near	28	29	30	31	32
R <sup>2</sup> VIX	0.61	0.58	0.64	0.58	0.58
R <sup>2</sup> VDAX	0.66	0.65	0.65	0.66	0.68
N obs.	127	132	132	132	128
T near	35	36	37	38	39
R <sup>2</sup> VIX	0.74	0.73	0.72	0.69	0.66
R <sup>2</sup> VDAX	0.72	0.69	0.67	0.67	0.67
N obs.	46	46	46	46	45

**Tabla 5.** Coeficiente de determinación  $R^2$  para predicciones de volatilidad realizada según el número de días restantes hasta el primer vencimiento más cercano  $T_1$ .

Los resultados de la calidad del ajuste se recogen en la tabla 5, pero no se encuentran diferencias significativas en la capacidad predictiva de los índices cuando clasificamos según días a 1er vencimiento,  $T_1$ , ni en USA ni en Alemania, ni entre los nuevos y los antiguos índices.



**Figure 5.** Coeficiente de determinación  $R^2$  para predicciones de volatilidad realizada según el número de días restantes hasta el primer vencimiento más cercano  $T_1$ .

En la figura 5 presentamos esta información de forma gráfica. Ni en USA ni Alemania se aprecian diferencias significativas entre los coeficientes de determinación calculados para distintos tiempos hasta el vencimiento más cercano. En general todos los valores se encuentran cercanos a los valores globales (sin distinguir entre  $T_1$ ) calculados en el apartado anterior,  $R_{VXO}^2 = 0.615$ ,  $R_{VIX}^2 = 0.610$ ,  $R_{VDAX}^2 = 0.598$  y  $R_{V1X}^2 = 0.645$ .

Tampoco se observan patrones destacables entre los diferentes días de la semana.

Sí se observa el efecto que ya habíamos señalado también en el apartado anterior, que la calidad predictiva del nuevo índice alemán es ligeramente mejor que la de la antiguo.

#### 4. CONCLUSIONES

Los índices de volatilidad han sido ampliamente estudiados en la literatura desde diferentes puntos de vista, sin embargo, hasta ahora no se había tratado de determinar cuál es el periodo óptimo de predicción de tales índices y si las características de las opciones que intervienen en su construcción, en concreto su vencimiento, influye o no en la calidad predictiva de los mismos.

En este trabajo, además, se efectúa un análisis tradicional de tipo descriptivo y de carácter predictivo de la volatilidad realizada. Los resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores y se confirma la mejor capacidad predictiva de los índices cuando se comparan con la volatilidad histórica o la volatilidad condicional.

Caben destacar algunos resultados: (1) el cambio en la metodología no parece afectar positivamente a la capacidad predictora del índice de volatilidad en el mercado americano, aunque sí en el mercado alemán, donde mejora la calidad del ajuste de la volatilidad realizada. (2) En ambos mercados parece existir un mínimo de volatilidad a la que está dispuesto negociar el mercado de opciones que es muy superior a la volatilidad mínima que realmente se detecta en el subyacente de las mismas. (3) El valor del primer vencimiento no parece afectar a la capacidad predictiva del índice.

#### 5. REFERENCIAS

Andersen, T.G. & Bollerslev, T. (1998). Answering the skeptics: yes standard volatility models do provide accurate forecasts. *International Economic Review* 39, 885-905.

Andersen, T.G., Bollerslev, T., Diebold, F.X. & Ebens, H. (2001). The distribution of realized stock return volatility. *Journal of Financial Economics* 61, 43-76.

Bird, R. & Yeung, D. (2012). How do investors react under uncertainty?. *Pacific-Basin Finance Journal*, 20(2), 310-327

Blair, B.J., Poon, S.H. & Taylor, S.J. (2001). Forecasting S&P 100 volatility: the incremental information content of implied volatilities and high-frequency index returns. *Journal of Econometrics* 105, 5-26.

Bollerslev, T. (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. *Journal of Econometrics* 31, 307-327.

- Brenner, M. & Galai, D. (1989). New financial instruments for hedging changes in volatility. *Financial Analysts Journal* 45(4), 61-65.
- Canina, L. & Figlewski, S. (1993). The Informational Content of Implied Volatility. *Review of Financial Studies* 6 (3), 659-681.
- Carr, P. & Wu, L. (2006). A Tale of Two Indexes. *Journal of Derivatives* 13 (3), 13-29.
- Christensen, B.J. & Prabhala, N.R. (1998). The Relation between Implied and Realized Volatility. *Journal of Financial Economics* 50, 125-150.
- Christoffersen, P., Heston, S. & Jacobs, K. (2013). Capturing Option Anomalies with a Variance-Dependent Pricing Kernel. *The Review of Financial Studies*, 26(8), 1963-2006.
- Chung, S. L., Tsai, W. C., Wang, Y. H. & Weng, P. S. (2011). The information content of the S&P 500 index and VIX options on the dynamics of the S&P 500 index. *Journal of Futures Markets*, 31(12), 1170-1201.
- Cox, J. C. & Rubinstein, M. (1985). *Options markets* (Vol. 340). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Day, F. & Lewis, C.M. (1992). Stock Market Volatility and the Information Content of Stock Index Options. *Journal of Econometrics*. 52 (1-2), 267-287.
- Diebold, F.X. & Mariano, R.S. (1995). Comparing predictive accuracy. *Journal of Business and Economic Statistics*, 13, 253-263
- Eraker, B., Johannes, M. & Polson, N. (2003). The impact of jumps in volatility and returns. *The Journal of Finance*, 58(3), 1269-1300.
- Fleming, J., Ostdiek, B. and Whaley, R.E. (1995). Predicting stock market volatility: a new measure. *The Journal of Futures Markets*, vol. 15 (3), 265-302.
- Glosten, L., Jagannathan, R. & Runkle, D. (1993). On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess return on stocks. *Journal of Finance*, 48, 1779–1802.
- Harvey, D.I., Leybourne, S.J. & Newbold, P. (1998). Tests for Forecast Encompassing. *Journal of Business & Economic Statistics*, Vol. 16 (2), 254-259.
- Lehnert, T., Lin, Y. and Martelin, N. (2013). Steis's Overreaction Puzzle: Option Anomaly or Perfectly Rational Behavior?. LSF Research Working Paper Series, n° 13-11.
- Luo, X. & Zhang, J.E. (2012). The Term Structure of VIX. *Journal of Futures Market*, 32(12), 1092-1123.

Newey, W.K. & West, K.D. (1987). A Simple, Positive Semi-Definitive, Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent Covariance Matrix. *Econometrica* 55, 703-708.

Poteshman, A. M. (2001). Underreaction, overreaction, and increasing misreaction to information in the options market. *Journal of Finance*, 56 (3), 851-876.

Stein, J. (1989). Overreactions in the options market. *Journal of Finance*, 4 (4), 1011-1023.

Whaley, R. E. (1993). Derivatives on market volatility: Hedging tools long overdue. *The Journal of Derivatives*, 1 (1), 71-84.