

# Superficies de volatilidad: Evidencia empírica del cálculo de la volatilidad implícita de la opción sobre el ETF QQQ

---

Luis Gonzalo Reyes Meza\*

Pablo Santin Filloy\*\*

Fecha de recepción: 27 de junio de 2011

Fecha de aceptación: 27 de octubre de 2011

---

\* Universidad Nacional Autónoma de México,  
Facultad de Economía  
reml83@hotmail.com

\*\* Universidad Nacional Autónoma de México,  
División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería  
procesoadiabatico@yahoo.com.mx

## RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla el cálculo de la volatilidad implícita de la opción europea simple (vanilla) sobre el ETF (Exchange Traded Fund) Nasdaq 100 (QQQ) a través de la optimización de la volatilidad en la ecuación de Black-Scholes-Merton (1973), suavizada mediante una regresión Kernel y ajustando la curva con 2 metodologías, el método de Newton-Raphson y el algoritmo de Brent-Drekker tomando como variable de entrada el precio de la opción *call* de cierre de mercado para los distintos precios de ejercicio y diversas fechas de expiración. Como resultado se obtendrá la superficie de volatilidad implícita de la opción del activo mencionado y se comparará con la de otros ETF sobre activos subyacentes de diferente naturaleza (divisas y *commodities*).

Clasificación JEL: G11, G12, G13.

**Palabras clave:** Productos derivados, volatilidad implícita.

## ABSTRACT

*In this paper we will develop the calculations to obtain the implied volatility of the European simple (vanilla) option of the Nasdaq 100 (QQQ) ETF, through the optimization of the volatility of the Black-Scholes-Merton (1973) equation, smoothed using a kernel regression and adjusting the curve using 2 methods, the Newton-Raphson method and the Brent-Drekker algorithm using, as input variables the closing market prices of the call options for different strike prices and different expiration dates. As a result the implied volatility surface of the option of the asset will be obtained and compared to other ETFs options with different types of underlying assets (currencies and commodities).*

*JEL classification: G11, G12, G13.*

**Key words:** *Financial derivatives, implied volatility.*

## 1. Introducción

### 1.1 Motivación

El objetivo de este estudio es calcular la superficie de volatilidad implícita de las opciones *call* del ETF (QQQ) con el propósito de que los inversores en este instrumento cuenten con una medida más cercana a la realidad sobre el dato de volatilidad que se debe aplicar al modelo de valuación de opciones Black-Scholes-Merton (1973), el cual considera la volatilidad como una constante sin tomar en cuenta los factores que inciden directamente sobre ésta. Adicionalmente, se comparará el comportamiento de la superficie de volatilidad implícita de esta opción con respecto a otras opciones sobre ETF de naturaleza distinta como son *commodities* y divisas. Estos cálculos se realizarán con dos metodologías: el método de Newton-Raphson y el algoritmo de Brent-Drekker, y se determinará cuál de las dos es la más conveniente.

En la valuación de las opciones, la volatilidad juega un papel central que afecta el precio de la opción, debido a que ésta cambia en función de dos factores principales: *a)* La posición en que se encuentre su valor intrínseco, ya sea dentro, en o fuera del dinero, y *b)* La estructura temporal de la propia volatilidad, medida con base en el tiempo hasta el vencimiento de la opción. Al realizar el cálculo de la superficie de volatilidad implícita usando los datos de mercado de la opción para diferentes precios de ejercicio y periodos de vencimiento, se obtiene un conjunto de valores de volatilidad que se encuentran en función a estos dos componentes.

En caso de que el modelo teórico de valuación de opciones de Black-Scholes-Merton fuese igual a la realidad, la superficie de volatilidad implícita sería un plano, lo que indicaría que la volatilidad es constante sin importar cambios en el vencimiento ni en su valor intrínseco, situación que, consideramos, dista de la realidad.

A pesar de que hubiese sido de nuestro agrado enfocar este trabajo hacia una opción emitida por el mercado mexicano de derivados (MexDer), la insuficiencia de volumen operado diariamente en este mercado hace que el realizar un cálculo de la superficie de volatilidad implícita sea fútil para cualquiera

de los activos operados en dicho mercado, teniendo un volumen total para 2009 en cuanto a la totalidad del mercado de opciones de 386 586 contratos.<sup>1</sup> Para muestra de ello podemos observar interminables hojas llenas de ceros que presenta el MexDer diariamente. A pesar de ello, ofrecen un estimado de la volatilidad implícita para cada contrato de opciones sobre índices y acciones, tomando como base de cálculo el índice de volatilidad implícita Vimex<sup>®</sup>, que toma como referencia la lista de las opciones sobre el IPC de los mercados organizados y/o cotizadas en los mercados OTC. El índice Vimex<sup>®</sup>, de acuerdo a su metodología de cálculo, mide la volatilidad implícita para un solo contrato teórico de opción sobre el IPC que se encuentra en el dinero y con un tiempo de vencimiento de 66 días hábiles. Cabe recordar que el objetivo principal de este trabajo es obtener no sólo un dato de volatilidad implícita, sino toda una superficie que abarque la totalidad de los contratos *call* de un subyacente.

A pesar de ello hay investigadores de países no desarrollados que usan modelos de volatilidad implícita para activos financieros que aún no existen en sus países, en pos de que en algún momento puedan ser utilizados en su propio mercado C. León (2009).

A partir del 2005, MexDer ofrece algunos contratos de opción sobre el ETF Nasdaq 100 (QQQ) a través del Sistema Internacional de Cotizaciones (SIC).

Tomando en consideración que los únicos contratos opción que se pueden adquirir en México a través del MexDer, que cuentan con un volumen suficiente que permita calcular la superficie de volatilidad implícita, son los contratos de opción sobre el ETF (QQQ), se decidió utilizar la opción mencionada en espera de que para publicaciones posteriores se tenga una opción del MexDer que pueda ser analizada adecuadamente usando la metodología propuesta.

## 1.2 Valor intrínseco

El valor intrínseco de una opción es la diferencia entre el precio pactado (*strike price*) con respecto al precio actual del subyacente. En el caso de las opciones *call* tenemos la siguiente clasificación:

---

<sup>1</sup> Informe anual MexDer 2009.

- *Dentro del dinero* (ITM, por sus siglas en inglés). Indica que el precio de ejercicio es menor al precio de mercado del subyacente, por lo que de mantenerse así hasta el vencimiento se obtendría una ganancia. En caso de que esta diferencia sea amplia se le llama *profundamente dentro del dinero* (DITM, por sus siglas en inglés).
- *En el dinero* (ATM, por sus siglas en inglés). Ocurre cuando la diferencia entre el precio del subyacente y el de ejercicio es igual a cero.
- *Cerca del dinero* (NTM, por sus siglas en inglés). Es cuando la diferencia entre el precio de ejercicio y el subyacente es muy cercana a cero, independientemente de que la diferencia sea positiva o negativa.
- *Fuera del dinero* (OTM, por sus siglas en inglés). Sucede cuando el precio de ejercicio es mayor al precio de mercado del subyacente, por lo que en caso de mantenerse esta condición, la opción no se ejercería. En el supuesto de que esta diferencia fuera muy amplia, se suele llamar *profundamente fuera del dinero* (DOTM, por sus siglas en inglés).

De los términos anteriores surge el de *moneyness*, que indica la posición de los contratos de acuerdo a su valor intrínseco como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de *moneyness* de acuerdo al valor intrínseco.

<b>Moneyness</b>	<b>Clasificación de acuerdo al valor intrínseco</b>
= 1	ATM
≈ 1	NTM
> 1	ITM
< 1	OTM

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior resulta evidente que algunas opciones que se encuentren NTM puedan estar OTM o ITM, ello sucede porque esta clasificación no tiene parámetros estrictos, pero es ampliamente utilizada dentro del ámbito de los derivados.

El valor de *moneyness* se calcula a partir de la siguiente relación en el caso de las opciones *call*:

$$m = \frac{S_t}{K} \quad (1)$$

Donde:

$m = \text{moneyness}$ .

$S_t$  = es el valor de mercado del subyacente.

$K$  = es el precio de ejercicio de la opción.

### 1.3 ETF

Los ETF (Exchange Traded Funds) o TRAC (Títulos Referenciados a Activos), como se les conoce en México, son instrumentos financieros que pretenden replicar el rendimiento de algún índice particular, esto lo logran a través de la adquisición de una canasta de activos igual a la composición del índice. Si bien tienen algunas similitudes con las sociedades de inversión, estos títulos difieren en algunos aspectos importantes como se muestra a continuación:

- Cotización continua. Se pueden comprar y vender a su precio de cotización del momento a lo largo del horario de operación del mercado.
- Gestión pasiva. La modificación de activos en la cartera sólo estará en función de los cambios en su índice de referencia.
- Sí manejan comisiones, pero éstas son más bajas que las de las sociedades de inversión.

Por lo anterior, una gran cantidad de inversionistas prefieren comprar títulos del ETF para evitar adquirir uno a uno, en las proporciones correspondientes las acciones que componen los índices.

En el caso particular del ETF PowerShares QQQ Index Tracking Trust<sup>SM</sup> o (QQQ), como se le conoce por su clave de pizarra o *ticker*, es manejado por la empresa InvestcoPowerShares Capital Management LLC. Tiene como objetivo replicar el desempeño del índice Nasdaq-100Index®; Cuenta con una comisión total por manejo de máximo 0.20% anualizado y se cobra diariamente.<sup>2</sup> Al 30 de septiembre del 2010, este ETF contaba con un total de \$21 222 873 543.00

---

<sup>2</sup> Dato tomado del prospecto de inversión del activo.

USD en activos, distribuidos en 432 700 000 acciones.<sup>3</sup> Al haber contratos de opción sobre este ETF y al ser éstos muy líquidos es que se puede generar la superficie de volatilidad implícita.

## 2. La volatilidad implícita

El cálculo de la volatilidad implícita se genera cambiando la dirección de los modelos de valuación, dejando como incógnita la volatilidad, y el precio de la opción (prima) queda como un dato que se obtiene del mercado. Esto implica que debemos utilizar el modelo de valoración de opciones que se utilice en la generalidad del mercado, con el fin de obtener un resultado congruente con los datos disponibles. Por otro lado, cada opción contará con un determinado valor de volatilidad implícita, por lo que ésta tiene que ser calculada para cada serie de opciones en la lista del mercado. En el consenso del mercado, el modelo de valuación generalmente aceptado es el de Black-Scholes-Merton (1973), el cual se calcula a partir de las siguientes ecuaciones;

$$f(S_t, t) = S_t \phi(d_1) - Ke^{-r(T-t)} \phi(d_2) \quad (2.1)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K}\right) + \left[r + \frac{\sigma^2}{2}\right](T-t)}{\sigma\sqrt{(T-t)}} \quad (2.2)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K}\right) + \left[r - \frac{\sigma^2}{2}\right](T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}} \quad (2.3)$$

Donde:

$S_t$  = Es el valor de mercado del subyacente.

$K$  = Es el precio de ejercicio de la opción.

<sup>3</sup> Dato tomado del prospecto de inversión del activo.

$r$  = es la tasa libre de riesgo.

$\sigma^2$  = es la volatilidad del subyacente.

$(T - t)$  = es el tiempo de expiración de la opción.

Por lo que el precio de una opción estará determinado por su tiempo de expiración, la tasa libre de riesgo, el precio de ejercicio de la opción, el precio actual del activo y la volatilidad de dicho activo; siendo la volatilidad la única variable inobservable en el modelo y la cual se considera como un factor constante.

Cuando intentamos inferir el factor de riesgo mediante el cálculo de las volatilidades implícitas, se pretende hacer una comparación con los datos reales (de mercado) y se intenta inferir por qué el factor de riesgo o volatilidad no es constante. Entre algunos factores se encuentran los siguientes:

- La volatilidad del subyacente es diferente del de la opción.
- Suposición errónea acerca del comportamiento Log-normal del subyacente.
- Situación de la opción (ITM, ATM y OTM).
- Tiempo remanente para el vencimiento.
- Factor humano incuantificable.

Entonces podemos definir a la volatilidad implícita como el valor de la volatilidad que logra que al incluirlo en la ecuación Black-Scholes-Merton, el precio de la opción se ajuste al precio de mercado. Otra definición puede ser la que nos ofrece Romina Palazzo (2000): "También podemos pensar la volatilidad implícita como aquella correspondiente al contrato subyacente a través del precio de la opción en el mercado, su exactitud depende de la precisión de los datos que se ingresen en el modelo".

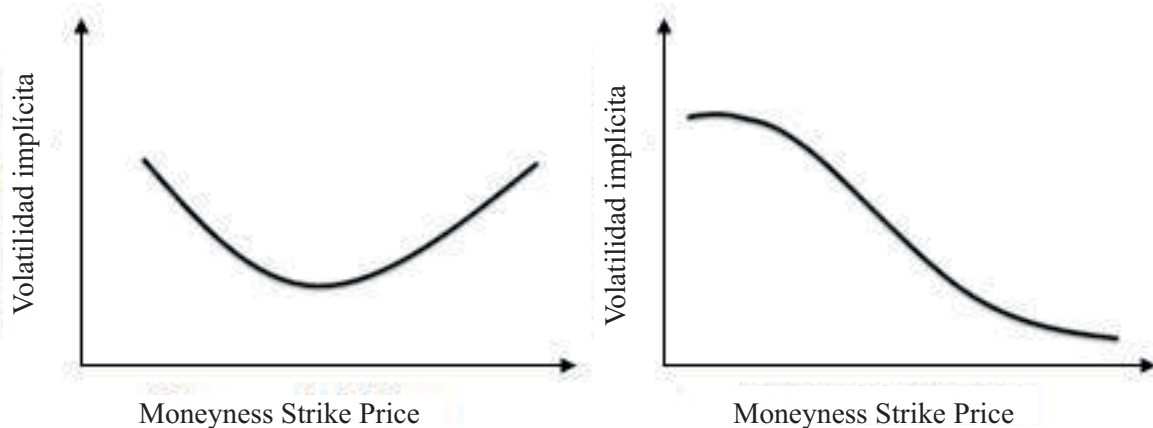
Debido a que al tratar de invertir la ecuación de Black-Scholes nos encontramos con una ecuación de tipo no lineal, resulta imposible estimar el valor de la volatilidad implícita por medios convencionales. Esto genera un problema de optimización el cual puede ser resuelto por métodos numéricos.

En general, se dice que la volatilidad implícita es un reflejo de las expectativas del mercado sobre la volatilidad del subyacente, por lo que comúnmente se le toma como la "volatilidad real de mercado". Su valor está sujeto a



los cambios en los precios del subyacente y de las primas para cada nivel de precios de ejercicio, lo que significa que el cambio de valor de la volatilidad implícita refleja los efectos de oferta y demanda de las opciones (opciones con mayor demanda conducirán a un mayor valor de sus primas). Por tanto, si tenemos un activo subyacente determinado, los niveles más altos de primas se registrarán en la dirección que el mercado crea que se mueve el subyacente o hacia donde crea más conveniente establecer una determinada cobertura. Esto quiere decir que para un conjunto de precios de ejercicio contaremos con un conjunto de volatilidades implícitas que nos permite visualizar la estructura de comportamiento del activo subyacente en relación a su precio de ejercicio (*moneyness*), y que comúnmente se le conoce como “sonrisa” o “mueca” de volatilidad (véase la Figura 1).

Figura 1. Sonrisa y mueca de volatilidades implícitas.



Fuente: Elaboración propia.

La función cuadrática (sonrisa) o monótona (mueca) se atribuye al exceso de curtosis de las distribuciones de rentabilidad, porque un exceso en la curtosis hace que las observaciones extremas sean más probables que las que asumen los modelos tradicionales, lo que aumenta el valor de las opciones profundamente en el dinero (DITM) y profundamente fuera del dinero (DOTM) Lamothe y Pérez (2003). En la práctica, cuando un activo tiene una caída muy pronunciada en su precio, la volatilidad implícita suele ser mayor, por lo que la pendiente de la curva es más pronunciada. Por lo general, los operadores al evaluar los diferentes valores que se proyectan, comparan distintas opciones

con fechas de vencimiento iguales, pero con diferentes precios de ejercicio y las volatilidades implícitas calculadas, estableciendo la compra de opciones con volatilidades implícitas más bajas y la venta de opciones con volatilidades implícitas más altas; esto se explica porque una opción con una volatilidad implícita mayor, implica un precio mayor para justificar el riesgo Bodie, *et al*, (2004).

Dado que al estimar la volatilidad implícita para diferentes precios de ejercicio en diferentes momentos en el tiempo se obtienen valores tan diversos, se considera que la volatilidad implícita que refleja con mayor representatividad las opiniones del mercado es la de las opciones en el dinero (ATM), porque son las más sensibles ante los cambios de la volatilidad y, por tanto, puede ser tomado como un parámetro de referencia del mercado.

El comportamiento de la estructura de volatilidades implícitas tiene algunas variantes dependiendo del tipo de mercado al que hace referencia el subyacente, por ejemplo, si se analizan los mercados de divisas, es común que la “sonrisa” cuente con un comportamiento simétrico, porque en la actualidad la mayoría de las monedas cuentan con un sistema de cambio flexible (o con flotación sucia), y dado que el entorno del mercado cambiario es muy sensible ante los cambios de diferentes variables, los agentes buscan tanto coberturas largas como cortas, elevando la demanda de los precios de ejercicios más extremos disponibles en el mercado de opciones y, por tanto, cuentan con un mayor nivel de primas y volatilidades.

En el caso de acciones o índices de precios, la forma de la curva de volatilidades implícitas es un poco distinta, porque tiende a presentar un comportamiento monótono decreciente. Sucede de esta forma porque se ha observado que los periodos con alta volatilidad tienden a coincidir con periodos de caída de precios en mayor medida que cuando un mercado es alcista, explicado con base en que los *booms* bursátiles por lo regular se gestan en periodos más largos, mientras que ajustes de precios o crisis son abruptos y de menor duración.

### 3. Metodología

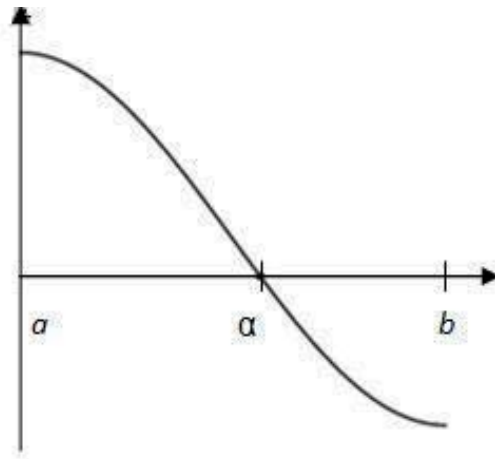
Como se mencionó, el cálculo de la volatilidad implícita necesita de la utilización de métodos numéricos, porque al tratar de inferir la volatilidad con

los datos de mercado, tenemos que la ecuación de Black-Scholes no puede ser aproximada por métodos tradicionales. De esta forma, el problema que se plantea es el de tratar de obtener el valor de la volatilidad para un conjunto de datos especificado para cada precio de ejercicio y fecha de expiración que iguale su valor de mercado por medio de aproximaciones (iteraciones). Comúnmente, para resolver este tipo de problemas que conducen a ecuaciones cuyas soluciones no se pueden calcular explícitamente, se recurre a los métodos numéricos de ceros de funciones.

Dada  $f : [a, b] \subset \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ , continua, se plantea el problema de encontrar ceros de  $f$ , es decir, raíces de la ecuación  $f(x) = 0$ .

La interpretación geométrica de este problema es determinar los puntos de corte de la gráfica de la función  $y = f(x)$  en  $[a, b]$  con el eje de las abscisas. En la Figura 2 la función corta en  $\alpha$  al eje de las abscisas en el intervalo  $[a, b]$ , lo que significa que  $\alpha$  es un cero de la función  $f$ .

Figura 2. Representación del cero de una función.



Fuente: Elaboración propia.

Hallar el cero de una función no siempre es posible, por lo que el problema se reduce a encontrar un intervalo muy pequeño  $[a^*, b^*]$  con  $a^*$  y  $b^*$  números flotantes, tales que  $f(a^*)$  y  $f(b^*)$  sean de signo opuesto. Existen diversas metodologías para obtener el cero de una función, sin embargo, para propósitos de este trabajo nos centraremos en la metodología Newton-Raphson y el algoritmo Brent-Drekker.

## 4. Regresión Kernel

Cuando estimamos las volatilidades implícitas para un conjunto de datos con determinada fecha de expiración y diferentes precios de ejercicio, es evidente que no existen cotizaciones continuas para cada instante y cada nivel de precios, por lo que nos encontramos ante una evidente ausencia de información valiosa. Esto quiere decir que si quisiéramos conocer una determinada volatilidad para una fecha de expiración y precio de ejercicio que todavía no se ha registrado en el mercado o que no tiene un precio, nos sería imposible inferir su valor. Al no contar con un dato específico en forma continua, resulta necesario inferir el valor aproximado que nos facilite conectar el conjunto de puntos de información dispersos con los que disponemos.

La opción para generar un patrón continuo de datos es utilizar una serie de suavizamiento, la cual generará información (inferida) en los periodos y secuencia de precios inexistentes. Un método de alisamiento de aplicación fácil es la regresión de tipo Kernel; en regresiones lineales cuando se tiene un conjunto de datos ordenados se pretende aproximar el patrón que sigue a través de una recta que cruce entre los datos con un error cuadrático lo más bajo posible, pero si tenemos que la naturaleza de los datos no es del todo lineal, nos gustaría ajustar una función de suavizamiento que permitiera seguir lo más fielmente posible la trayectoria real de los datos. A diferencia de la regresión lineal o la regresión polinomial, la regresión Kernel no asume ningún tipo de supuesto sobre la distribución de los datos originales para estimar la función de regresión, es por ello que este tipo de estimación se ubica en la categoría de las técnicas no-paramétricas de regresión.

La idea central de la regresión Kernel es asignar un peso específico a cada nivel y localización (distancia) de los datos, de forma que la función base de esta estimación dependa sólo de la varianza de cada punto local de datos y de la localización de sus datos adyacentes, por lo que en ocasiones se le relaciona frecuentemente con otras técnicas de alisamiento como; la media móvil, las funciones radiales o la KNN (K nearest neighbor). Asumimos que el comportamiento de una serie se registra de la forma;

$$P_t = m(X_t) + \varepsilon_t \quad t = 1, 2, 3, \dots, T$$

Donde el estimador de  $m(x)$  se puede asumir como;

$$\hat{m}(x) \equiv \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T w_t(x) Y_t, \quad (4.1)$$

que en pocas palabras podemos describir como el factor medio ponderado de un conjunto de datos. Para llevar a cabo la regresión de tipo Kernel, lo único que se tiene que hacer es evaluar una función Kernel para cada punto de datos, por lo que decimos que cada punto de datos es el centro de una distribución gaussiana. Al aplicar el Kernel a los datos originales, ahora se pueden unir dos puntos de datos con valores que tengan incrementos ( $dx$ ) de menor tamaño, y si éstos son muy pequeños o cercanos a cero, el suavizamiento de la serie es más acentuado. La fórmula de un Kernel gaussiano está dada por:

$$K_h(x) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2h^2}}. \quad (4.2)$$

Donde  $h$  es el ancho o varianza del núcleo y muchas veces es llamado ancho de banda o ventana del Kernel. Un ancho de banda mayor implica una mayor persistencia de la distribución de un valor a lo largo del dominio, esto se puede entender como el ancho de la ventana que tendrá cada punto de datos, otorgando un factor de ponderación a cada uno de ellos. Estas ponderaciones se utilizan como medio para conocer todos los puntos que se encuentran dentro de cada ventana, y es por esto que el parámetro  $h$  trabaja como un factor de suavizamiento. Existen diferentes técnicas para determinar el nivel de alisamiento óptimo que debe tener un conjunto de datos, pero para fines prácticos asumimos que este factor puede ser estimado a partir de la mediana de la diferencia absoluta de la cantidad media de los datos;

$$h = Me |x_i - Me(x)|. \quad (4.3)$$

Una vez obtenida la distribución de la función Kernel para cada conjunto de datos, necesitamos estimar el valor de nuestra variable dependiente con base en el dominio de la variable independiente de acuerdo con

$$\hat{m}(x) \equiv \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \omega_{t,h}(x_t) Y_t = \frac{\sum_{t=1}^T K_h(x - X_t) Y_t}{\sum_{t=1}^T K_h(x - X_t)} \quad (4.4)$$

Donde

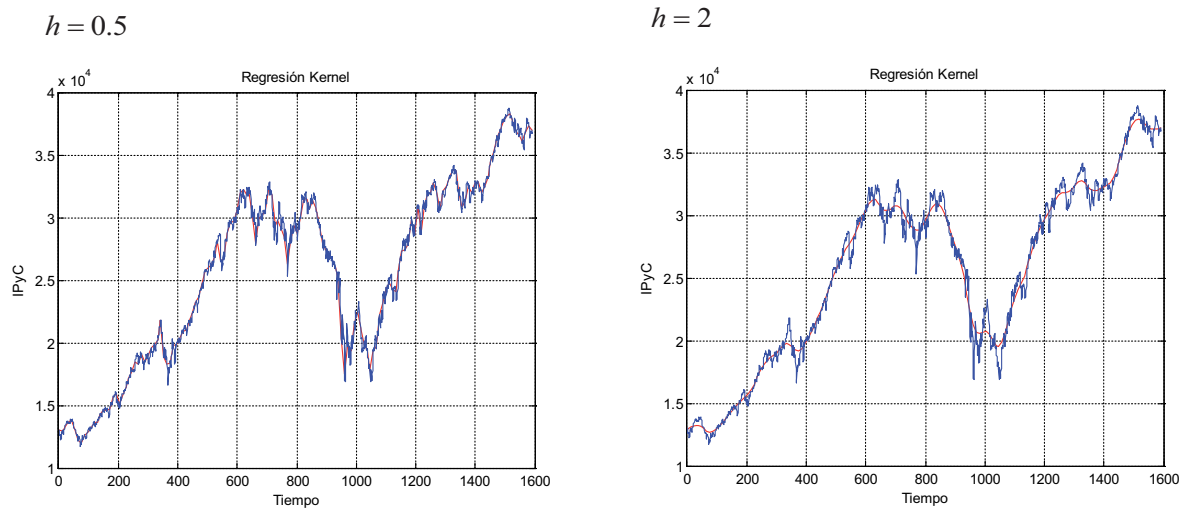
$$\omega_{t,h}(x_t) \equiv \frac{K_h(x - X_t)}{g_h(x)} \quad (4.5)$$

y

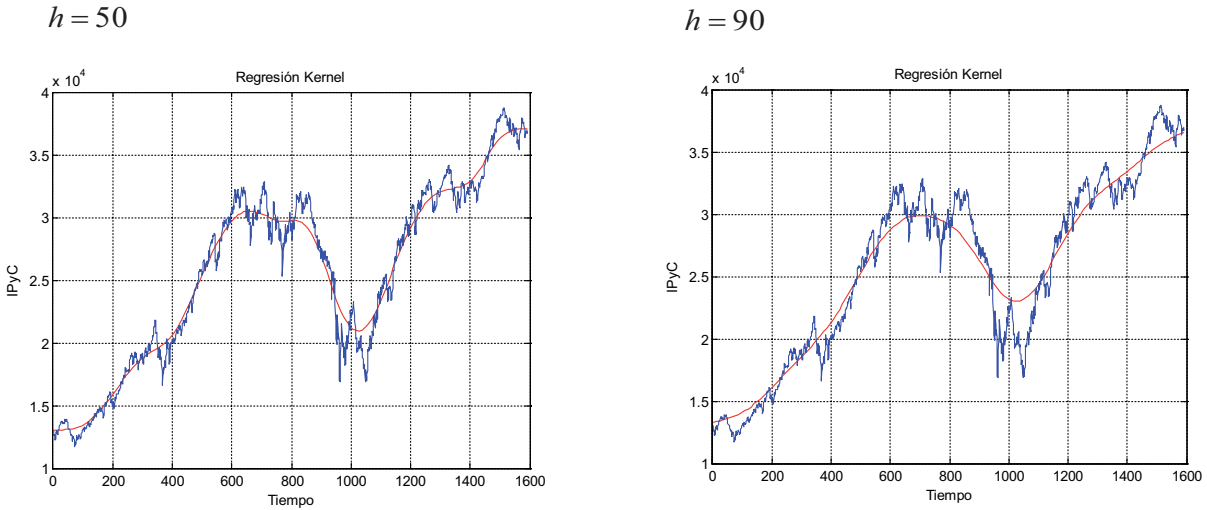
$$g_h \equiv \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T K_h(x - X_t) \quad (4.6)$$

El numerador de la fórmula de la regresión Kernel es un producto conjunto del Kernel y el dato original, mientras que el denominador sólo es la suma del valor del Kernel en el dominio de la variable independiente para todos los puntos de datos con los que se cuente en una serie.

Gráfica 1. Ejemplo de diferentes niveles de suavizamiento de una regresión Kernel.



Suavizamiento de la serie del Índice de Precios y Cotizaciones de la BMV con diferentes valores para el parámetro de alisamiento  $h$ .



Fuente: Elaboración propia.

## 5 Resultados empíricos

Los datos utilizados para el cálculo de la superficie de volatilidad fueron obtenidos de *Yahoo finance* para los precios de las opciones *call* de los siguientes subyacentes con su fecha de recolección:

Tabla 2. Fechas de cálculo para cada ETF.

ETF Subyacente	Fecha de cálculo
Nasdaq 100 (QQQ)	12 de mayo del 2011
SPDR Gold Shares (GLD)	25 de mayo del 2011
CurrencyShares Japanese Yen Trust (FXY)	3 de junio del 2011

Fuente: Elaboración propia.

Dichos datos fueron procesados de acuerdo a la metodología propuesta, utilizando una modificación del código de Matlab planteado por Rodolphe Sitter. El cálculo para la volatilidad implícita se llevó a cabo bajo los dos métodos numéricos enunciados, el Newton-Raphson y el Brent-Drekker.

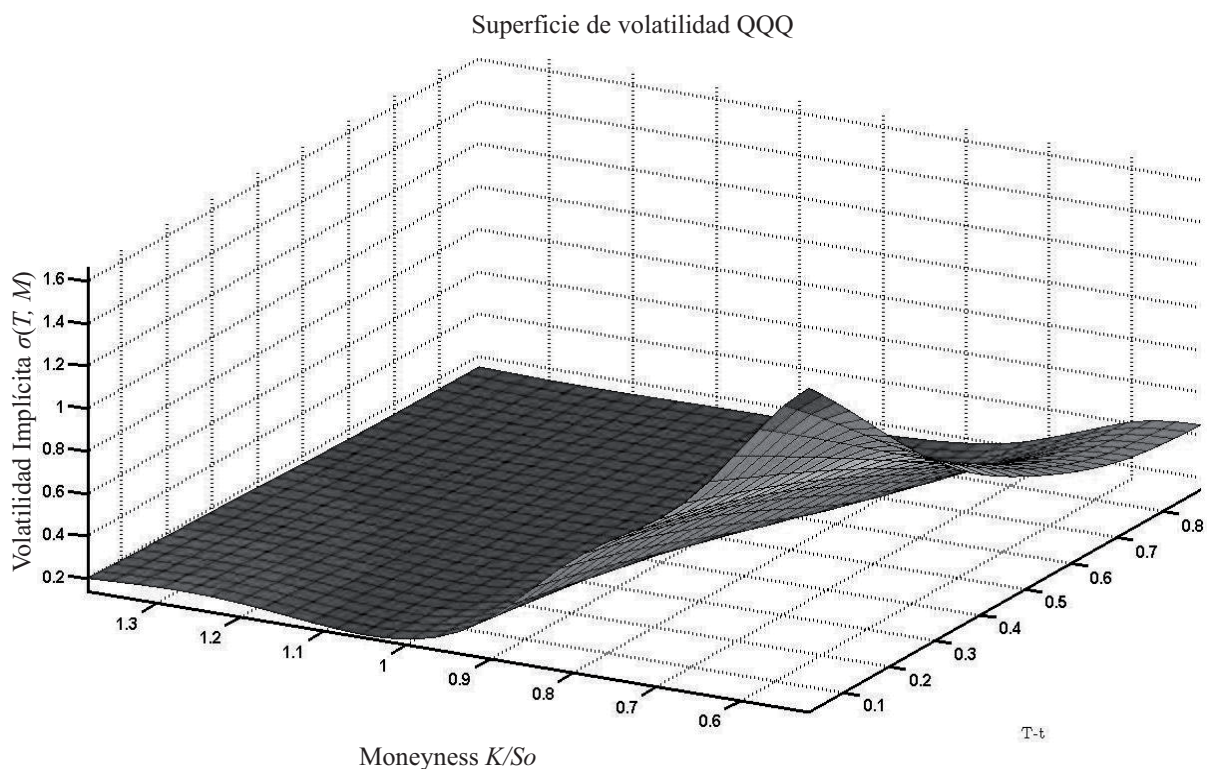
En cuanto a la cantidad de incrementos ( $dx$ ) que componen a la serie Kernel de suavizamiento, se utilizó un factor de 30 con el fin de obtener un número



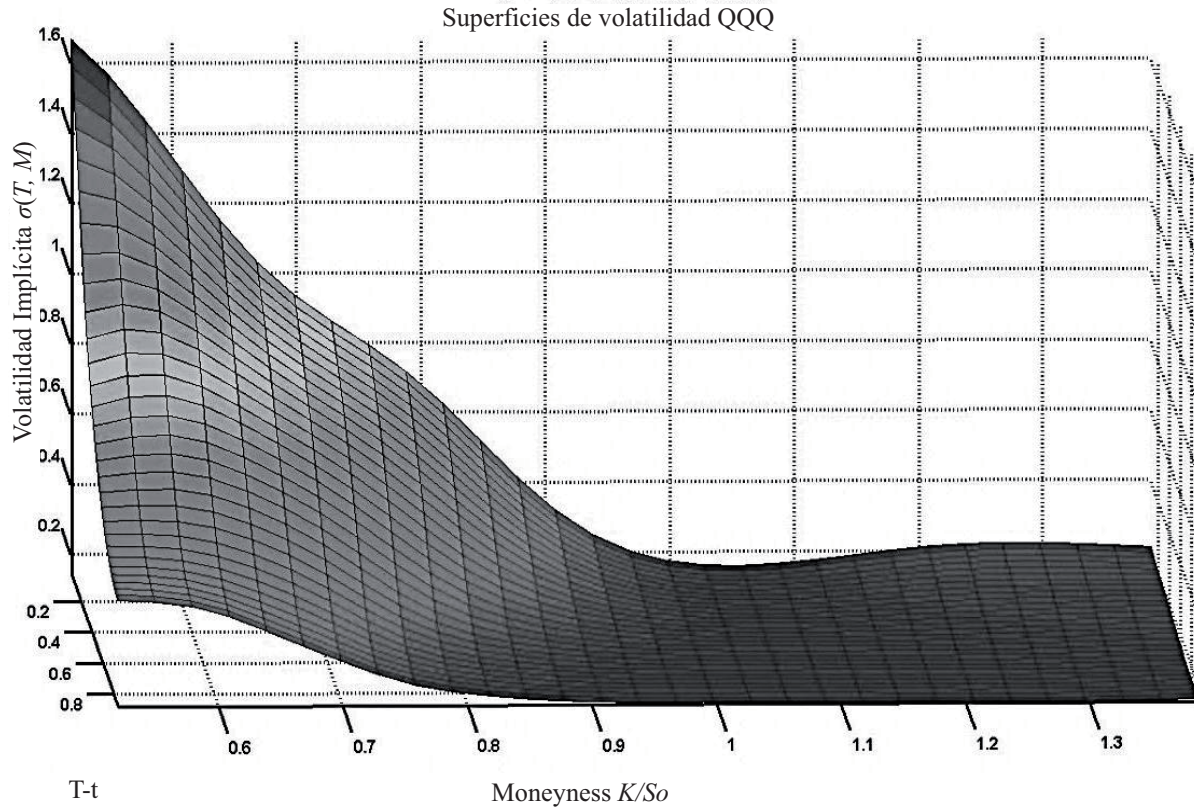
ro significativo de resultados para diferentes precios de ejercicio y periodos hasta el vencimiento, de forma que el producto fuera una superficie continua en todos los puntos. Como variable de salida se generó la gráfica correspondiente a la superficie de volatilidad y una matriz de volatilidades implícitas para cada periodo de vencimiento y precio de ejercicio. Finalmente se extrajo la serie de las volatilidades implícitas correspondiente a las opciones *at the money* (ATM) para cada periodo de vencimiento.

Las gráficas que se muestran a continuación están ordenadas del siguiente modo, dos gráficas de la superficie de volatilidad implícita vistas desde ángulos distintos para su mejor apreciación, en donde se observa el movimiento de la volatilidad implícita de acuerdo a los cambios de sus dos variables, que son fechas de expiración así como cambios en su valor implícito, y después una gráfica en donde se extrae la curva para diferentes plazos de expiración para opciones (ATM), es decir, cuando la variable *moneyness* es igual a uno. Todo esto para cada uno de los tres ETF analizados.

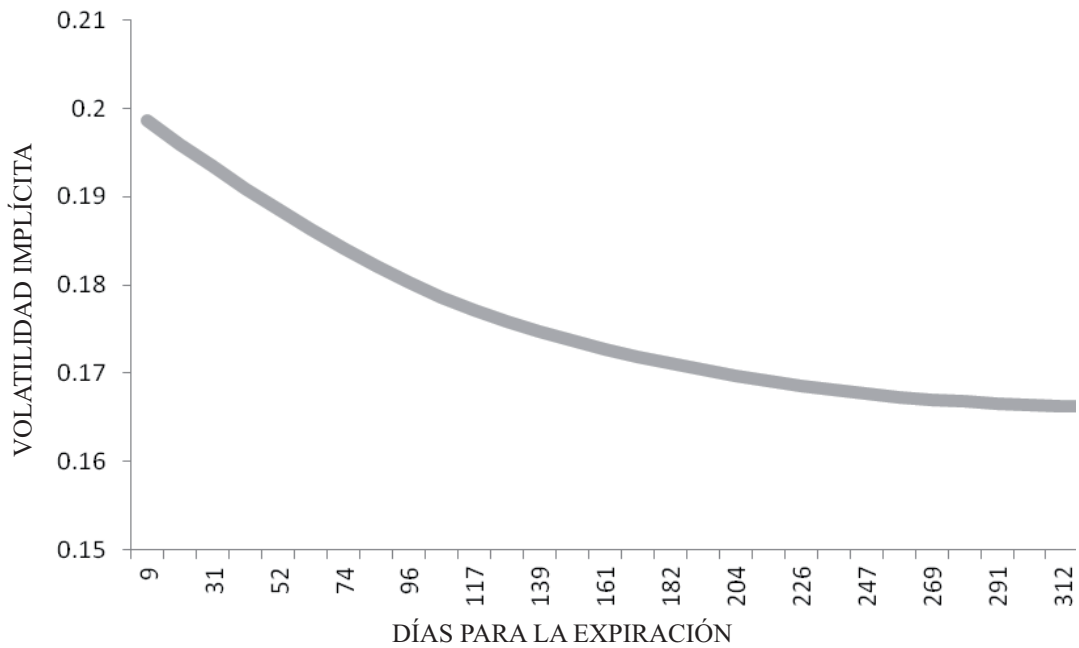
Gráficas 2 y 3. Superficie de volatilidad implícita: Nasdaq 100 (QQQ).





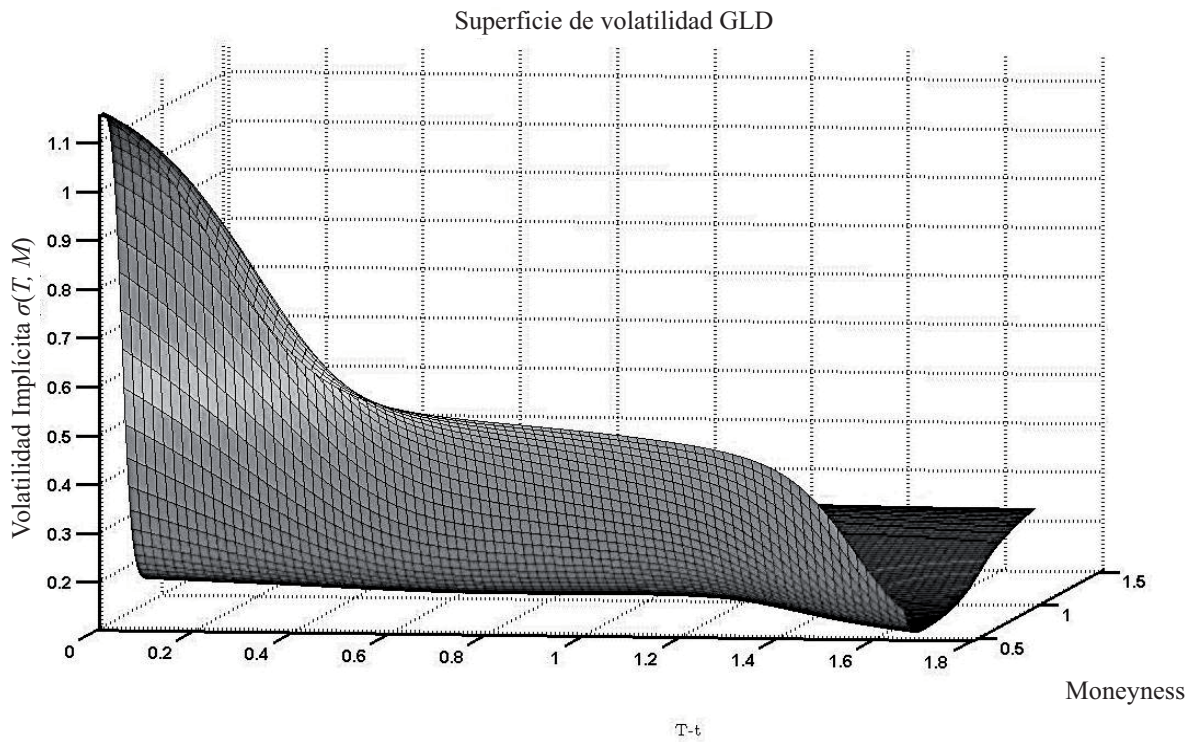
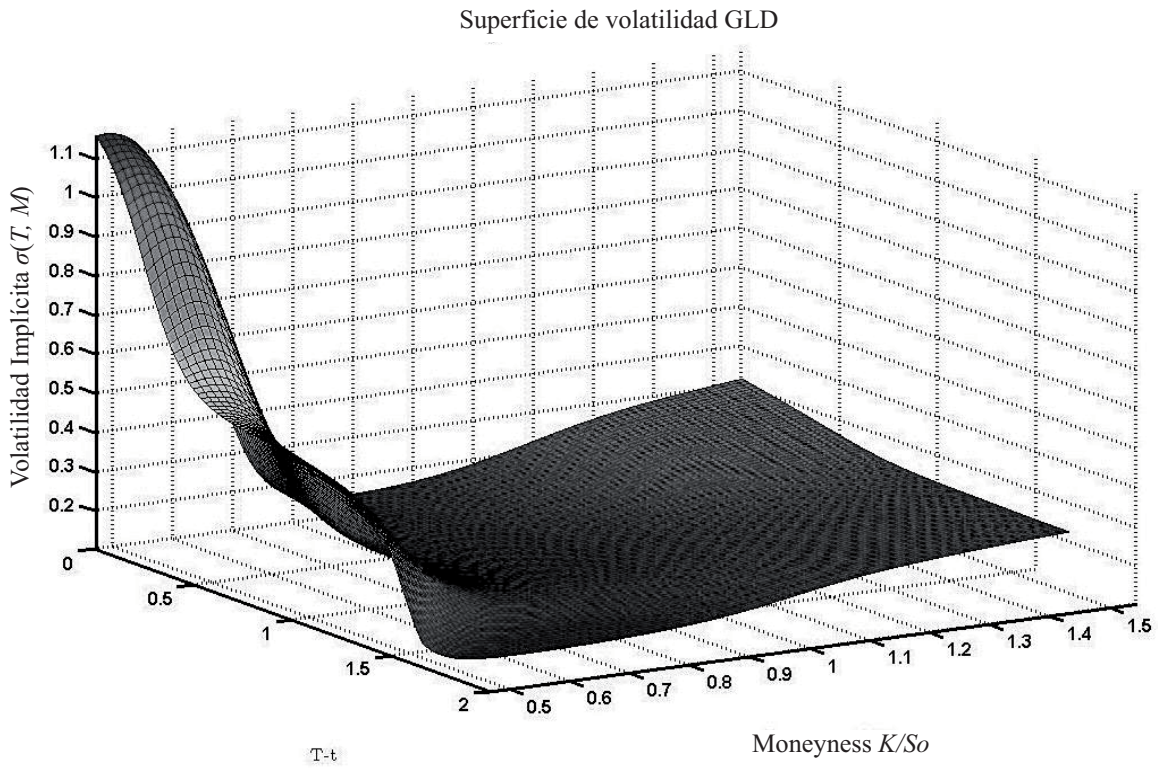


Gráfica 4. Volatilidad de las opciones “at the money” del ETF (QQQ) para diferentes días de expiración.

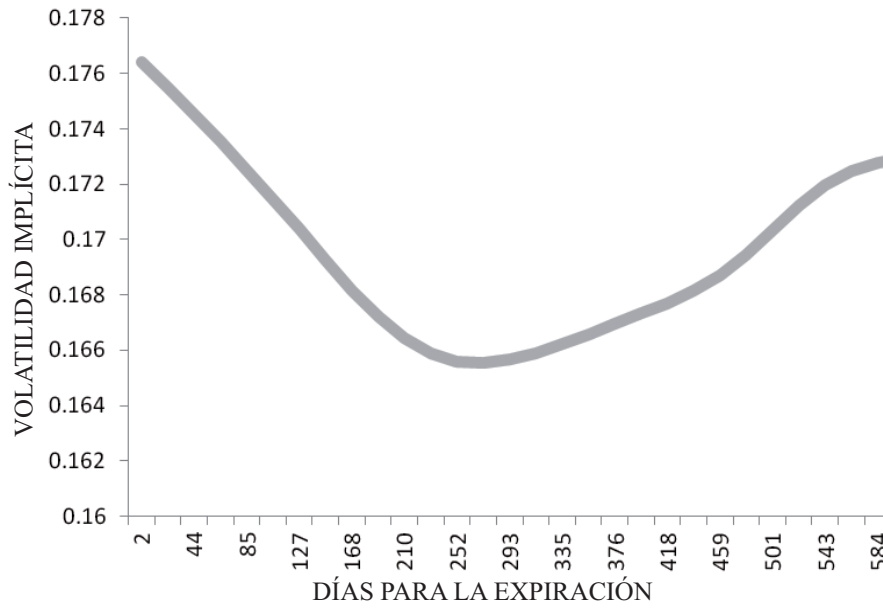


Fuente: Elaboración propia.

Gráficas 5 y 6. Superficie de volatilidad implícita: SPDR Gold Shares (GLD).

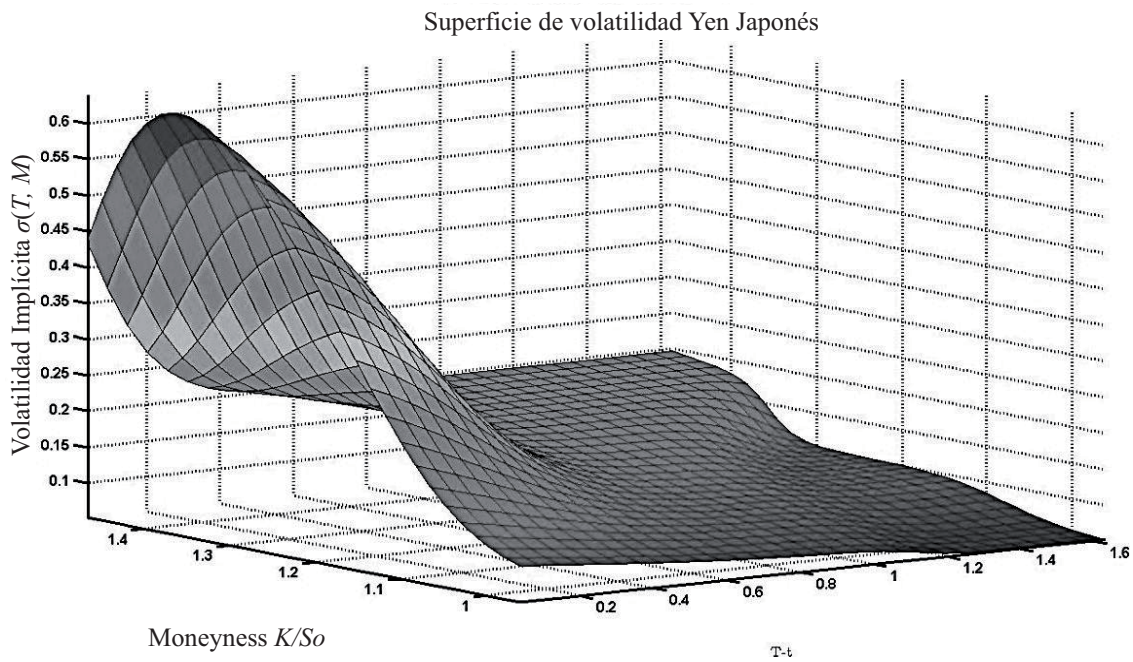


Gráficas 7. Volatilidad de las opciones "at the money" del ETF (GLD) para diferentes días de expiración.

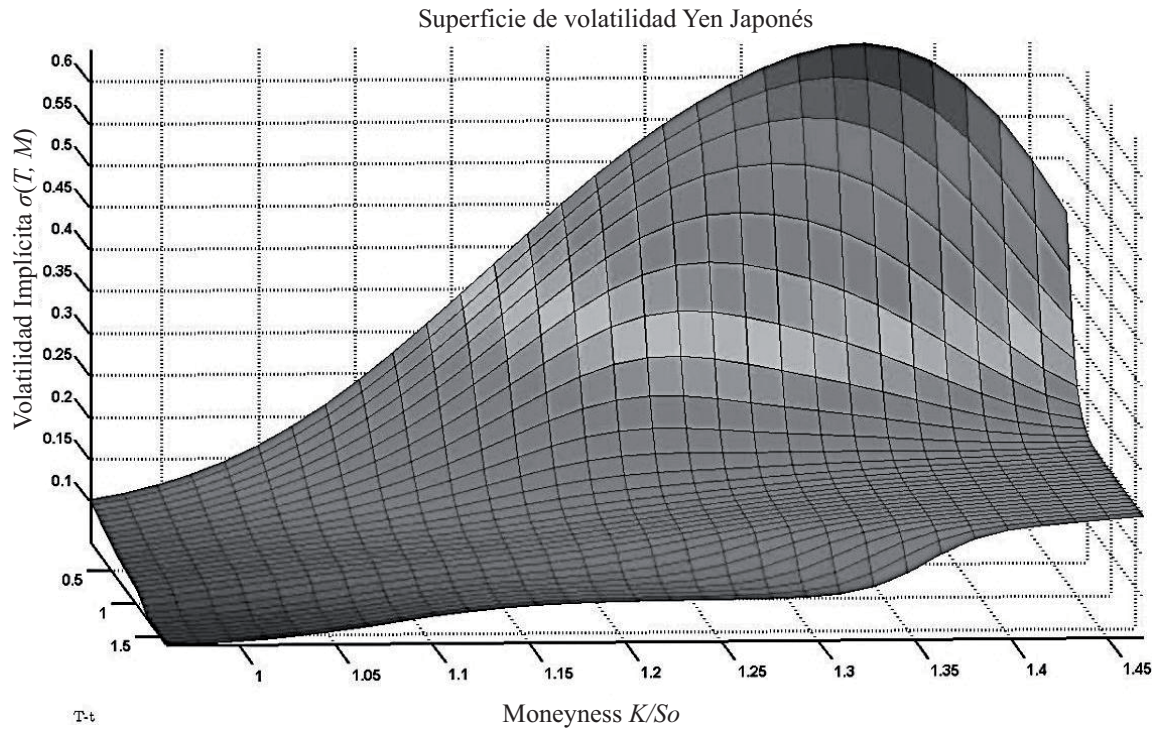


Fuente: Elaboración propia.

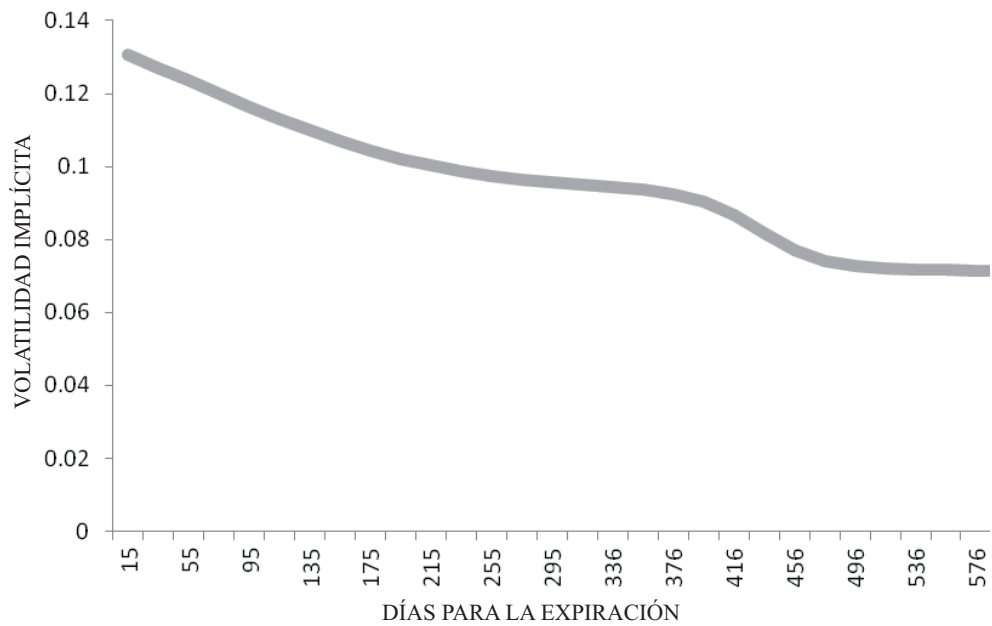
Gráficas 8 y 9. Superficie de volatilidad implícita: Currency Shares Japanese Yen Trust (FXY).







Gráfica 10. Volatilidad de las opciones “at the money” del ETF (FXV) para diferentes días de expiración.



En este trabajo se utilizaron para generar la volatilidad implícita dos métodos numéricos básicos, el Newton-Raphson y el Brent-Drekker, los cuales no mostraron una diferencia significativa en sus resultados, la única diferencia fácilmente apreciable fue en cuanto al tiempo de cálculo, ya que el algoritmo Brent-Dekker resultó 15 veces más rápido en la totalidad de las veces.

El comportamiento de la superficie de volatilidad calculada para el ETF de las opciones (QQQ) muestra una alta volatilidad en tiempos próximos de expiración y en las secciones profundamente dentro del dinero (DITM), lo que reflejaría un paulatino descenso del activo subyacente y un aumento en el precio de este tipo de opciones al contener un valor intrínseco mayor, ya que al tener mayor margen de utilidad, estas resultarían más ventajosas para su venta frente a opciones que no registraran un mejor rango de ganancia. La Gráfica 4, correspondiente a todas las opciones en el dinero (ATM) para este subyacente también confirma esta tendencia, donde se puede ver el efecto del factor de tiempo, ya que a pesar de contar con un precio de ejercicio en línea con el subyacente, las opciones con un menor periodo de vencimiento o muy cercano vencimiento reflejan un nivel de precios mayor.

El caso de la opción sobre el ETF (GLD) que toma su valor de referencia de las cotizaciones del oro, muestra un comportamiento un poco distinto como se observa en las Gráficas 5, 6 y 7. En esta superficie se pueden apreciar puntos extremos tanto en tiempo como precios de ejercicios con un alto contenido de volatilidad implícita; esto hace que dichas opciones se comporten como comúnmente lo hacen las opciones sobre divisas, ya que la volatilidad implícita refleja las posiciones de cobertura en ambas direcciones de precios, siendo más acentuada en las partes que reflejan opciones profundamente dentro del dinero (DITM) y con fecha próxima de expiración.

Por su parte la opción sobre el ETF (FXI) que toma como subyacente la cotización dólar-yen registra importantes cambios con respecto a los activos analizados anteriormente, como se ve en las gráficas 8, 9 y 10. Esta superficie muestra un gran contenido de volatilidad en sus partes “out of the money” (OTM), las cuales pueden ser atribuidas a grandes subidas en los niveles de precios del subyacente, por lo que se podría interpretar que durante el instante en el tiempo que se recogieron los datos, el ETF registraba una fuerte alza de precios. Sin embargo podemos advertir que su curva “at the money” (ATM) apenas percibe este cambio y parece responder más lentamente ante esta subida de precios.

## 6. Conclusiones

En este trabajo se pretendió ilustrar un panorama general sobre la importancia actual que juega en el mercado la estimación de la volatilidad implícita. El método aquí utilizado describe de una forma clara y sencilla el cálculo de esta variable, pero en la actualidad contamos con una vasta literatura que propone diversos mecanismos para su estimación, los cuales, pretenden perfeccionar su cálculo con un mayor nivel de precisión y ahorro de recursos.

Al calcular las volatilidades implícitas podemos inferir el comportamiento determinado de un producto derivado, ya que nos mostrará las preferencias a las que están sujetos los agentes del mercado en un periodo específico en el tiempo, por lo que podemos generar decisiones que nos ayuden a crear oportunidades de ganancia o de cobertura.

En muchas ocasiones se toma a la volatilidad implícita como una variable que puede predecir el comportamiento del mercado, pero esto, está muy lejos de ser cierto; simplemente puede ser tomada como una fotografía actual del mercado que nos indica la tendencia que prevalece en ese momento y con esto, aprovechar las oportunidades que se generan a cada instante.

Para que el cálculo de la volatilidad implícita se ocupe de manera eficiente, se necesitan obtener muestras periódicas durante el tiempo de operación del mercado, por lo que crear un procedimiento sistematizado que permita monitorear los diferentes listados disponibles, aportará un mejor panorama sobre cada una de las estrategias posibles de realizar. De acuerdo a los resultados, se recomienda el uso de un algoritmo basado en el método de Brent-Drekker contra uno basado en el método de Newton-Raphson al ser el primero más eficiente en tiempo. Aunque esto no es limitante ya que se puede desarrollar un algoritmo para la estimación que se base en otro método de búsqueda de ceros en funciones que resulte más económico en tiempo.

## Bibliografía

- Álvarez, R. y E. López (2010). *Análisis Numérico I*. Tabasco (México), Universidad Autónoma de Tabasco.
- Atkinson, K. (1989). *An introduction to numerical analysis*. Inglaterra, John Wiley & Sons.

- Black, F. y M. Scholes (1973). "The pricing of options and corporate liabilities". *The Journal of Political Economy*. Vol. 81, núm. 3
- Bodie, Z., A. Kane, A. Marcus (2004). *Essentials of investments*. EU, McGraw-Hill.
- Chapra, C. (2002). *Applied numerical methods with matlab: for engineers and scientist*. EU, McGraw-Hill.
- García, P. y P. Lamothe (2004). La volatilidad implícita en las opciones sobre índices bursátiles. Propuesta de metodología de estimación. Madrid (España), Universidad Complutense de Madrid (Documento de trabajo, 0407).
- Gatheral, J. (2006). *The volatility surface: a practitioner's guide*. Hoboken, Nueva Jersey (EU), John Wiley & Sons.
- Grajales, C. Y F. Pérez (2007). Modelos discretos y continuos para estimar la densidad de probabilidad de la volatilidad estocástica de los rendimientos de series financieras. Ponencia. IV Simposio Nacional y I Internacional de Docentes de Finanzas. Colombia.
- Hull, C. (2008). *Options, futures and other derivatives*. 7a. ed. Toronto (Canadá), University of Toronto/Prentice Hall.
- Lamothe, P. y M. Pérez (2003). *Opciones financieras y productos estructurados*. Madrid, McGraw-Hill.
- León, C. (2009). Una aproximación teórica a la superficie de volatilidad en el mercado colombiano a través del modelo de difusión con saltos. Colombia, Banco de la República-Subgerencia de Estudios Económicos (Borradores de economía, 570).
- Lo, W., H. Mamaysky y J. Wang (2000). "Foundations of technical analysis: computational algorithms, statical inference, and empirical implementation". *The Journal of Finance*. Vol. 55, núm. 4, pp. 1705-1965.
- Palazzo Romina (2000). "Análisis de Volatilidad Implícita". Programa Formación 2000. Bolsa de Comercio de Rosario, Argentina.
- Wilmott, P. (2006). *Paul Wilmott on quantitative finance*. Vol. II. West Sussex (Inglaterra), John Wiley & Sons.

