

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ESTADÍSTICA

LICENCIATURA EN ECONOMÍA
TRABAJO FINAL

El precio de la incertidumbre:
*Comparación empírica de modelos de estimación de
volatilidad en opciones financieras*

Autor: Pedro Velázquez

Legajo: V-3167/4

Docente Tutor: Luciano Machain, Ph.D.

Fecha: Junio 2025

Agradecimientos

*Quiero agradecer a mi director de tesis, **Luciano Machaín**, por su guía, compromiso y acompañamiento a lo largo de este trabajo.*

A mis compañeros y compañeras de cursado, por compartir infinidad de momentos que hicieron más llevadero este camino.

*A la **universidad pública**, donde pude desarrollar tanto habilidades duras como blandas, rodearme de destacados profesionales y, sobre todo, compartir el trayecto con personas excepcionales.*

*Finalmente, quiero hacer una mención especial para **Valentín**, con quien enfrentamos desde el principio hasta el final este desafío, siendo mi compañero de ruta en todo momento. Confío que el día de mañana seremos colegas.*

Resumen

La volatilidad es un parámetro fundamental en los modelos de valuación de opciones, ya que refleja la incertidumbre o variabilidad esperada en el precio del activo subyacente.

Este trabajo compara tres enfoques ampliamente utilizados para estimar la volatilidad: el cálculo histórico basado en el desvío estándar de los retornos pasados, la volatilidad implícita extraída de precios de opciones, y la volatilidad condicional modelada mediante GARCH. El análisis se aplica a dos mercados con estructuras diferenciadas: el estadounidense, representado por el ETF SPY, y el argentino, a través de la acción GGAL, utilizando datos diarios entre 2023 y 2025.

Se evalúa la capacidad predictiva de cada método respecto de la volatilidad futura. En el caso del SPY, la volatilidad implícita tiende a sobreestimar la realizada, lo que sugiere la existencia de una prima por riesgo. En cambio, el modelo GARCH mostró mayor precisión al capturar la dinámica temporal de la volatilidad, especialmente cuando se incorporan técnicas de simulación de escenarios.

Se concluye que no existe un enfoque universalmente óptimo; cada modelo aporta ventajas específicas dependiendo del contexto. La clave está en utilizarlos como herramientas flexibles, no como estructuras rígidas que limiten nuestra perspectiva.

Palabras clave: Opciones Financieras, Volatilidad, Black-Scholes, Modelos GARCH y Simulaciones Estocásticas.

Abstract

Volatility is a key parameter in option pricing models, as it represents the expected uncertainty or variability in the price of the underlying asset.

This study compares three commonly used methods to estimate volatility: the historical approach based on the standard deviation of past returns, implied volatility derived from option prices, and conditional volatility modeled through GARCH. The analysis focuses on two markets with distinct characteristics: the U.S. market, represented by the ETF SPY, and the Argentine market, represented by the GGAL stock, using daily data from 2023 to 2025.

The predictive performance of each method regarding future volatility is assessed. For the SPY, implied volatility tends to overestimate realized volatility, indicating the presence of a risk premium. Conversely, the GARCH model demonstrated higher accuracy in capturing the time-varying nature of volatility, especially when combined with scenario simulation techniques.

It is concluded that there is no universally optimal approach; each model offers specific advantages depending on the context. The key lies in using them as flexible tools, not as rigid frameworks that constrain our perspective.

Key words: Financial Options, Volatility, Black-Scholes, GARCH Model and Stochastic Simulations

1. Introducción

Las opciones, pertenecientes a la gran familia de derivados financieros, permiten a los agentes económicos cubrirse frente a movimientos adversos en los precios y gestionar el riesgo de sus posiciones mediante una amplia gama de estrategias. A la par de este uso coberturista, las opciones son también herramientas fundamentales para operadores que buscan beneficiarse de la especulación o el arbitraje, aportando profundidad y liquidez a los mercados financieros.

Durante las últimas décadas, el estudio de las opciones ha cobrado cada vez más relevancia, impulsado por la expansión y sofisticación de los mercados de derivados en todo el mundo. Esta evolución, tanto en economías desarrolladas como en emergentes, generó una creciente necesidad de contar con métodos cada vez más precisos para estimar los parámetros que inciden en la valuación de estos contratos. Para un operador de opciones, no basta con anticipar la dirección general del mercado: resulta crucial entender la magnitud y la velocidad de los cambios de precios, es decir, su volatilidad. La volatilidad del activo subyacente se convierte así en un componente clave para la toma de decisiones, ya que incide directamente en el precio de una opción y en las oportunidades de cobertura o ganancia que ofrece.

Por esta razón, este trabajo se propone abordar el concepto de volatilidad, desde su definición teórica hasta distintas metodologías de medición y estimación. En particular, se hará foco en tres enfoques que permiten dimensionar y proyectar la volatilidad en los precios: la volatilidad histórica, la volatilidad implícita y la volatilidad condicional. El objetivo es ofrecer una primera aproximación de cada método y, a partir de una comparación empírica, poner a prueba su capacidad predictiva y sus limitaciones.

Asimismo, se plantea un análisis comparativo en dos contextos de mercado con características contrastantes: el estadounidense, con un mercado de derivados amplio, líquido y eficiente, y el argentino, que enfrenta mayores restricciones de liquidez y una dinámica más cambiante. Esta comparación permitirá no solo resaltar las particularidades de cada dinámica, sino también subrayar la importancia de adaptar los modelos de estimación a la realidad concreta de cada mercado, brindando así herramientas útiles para la gestión del riesgo y la toma de decisiones de los operadores.

2. Marco Teórico

2.1 Opciones financieras

Las opciones financieras son instrumentos derivados que otorgan a su titular el derecho, pero no la obligación, de comprar o vender un activo subyacente a un precio previamente acordado, denominado precio de ejercicio o strike, en una fecha futura determinada, denominada fecha de vencimiento.

Existen dos tipos de opciones: las opciones de compra (call) y las opciones de venta (put). En ambos casos, intervienen dos partes: el comprador de la opción, que adquiere el derecho, y el vendedor o lanzador, que asume la obligación correspondiente. Este último, a cambio, recibe una prima al momento de concertar la operación.

En una opción call, el comprador tiene el derecho de adquirir el activo subyacente al precio de ejercicio, mientras que el vendedor tiene la obligación de vender dicho activo si el

comprador decide ejercer la opción. En una opción put, en cambio, el comprador adquiere el derecho de vender el activo al precio pactado, y el vendedor asume la obligación de comprarlo si la opción es ejercida. A su vez, podemos clasificar los diferentes contratos de opciones según el momento en el cual pueden ser ejercidos. Por un lado, las opciones europeas sólo pueden ejercerse en la fecha de vencimiento, mientras que las opciones americanas permiten el ejercicio en cualquier momento hasta esa fecha, lo que introduce un componente adicional de flexibilidad y complejidad en su valuación. (Rhoads, 2011)

El beneficio (o payoff) de una opción al vencimiento depende de la diferencia entre el precio de mercado del activo subyacente y el precio de ejercicio. Para una opción de compra, el beneficio del comprador será igual a:

$$\max(S_T - K; 0) - Prima$$

donde S_T es el precio del subyacente al vencimiento y K es el precio de ejercicio.

Para una opción de venta, el beneficio del comprador será igual a:

$$\max(K - S_T; 0) - Prima$$

Tanto para las opciones de compra como de venta, el beneficio del lanzador se obtiene invirtiendo los signos de las ecuaciones, ya que las opciones son un juego de suma cero.

Dependiendo de la relación entre el precio del activo subyacente y el precio de ejercicio, una opción puede clasificarse en tres situaciones. Una opción se encuentra in the money (ITM) cuando ejercerla generaría un beneficio inmediato. Esto ocurre cuando el precio del subyacente supera al strike en el caso de los calls, o cuando es inferior al strike en el caso de los puts. Se considera at the money (ATM) cuando el precio del subyacente es igual al strike, y out of the money (OTM) cuando ejercer la opción no resulta conveniente, es decir, cuando el subyacente está por debajo del strike en un call, o por encima en un put. Es importante destacar que esta relación se realiza sobre el valor del contrato, es decir, no se tienen en cuenta las primas. (Rhoads, 2011)

2.2 Historia y evolución de los modelos de valuación

El estudio formal de los instrumentos derivados tiene sus raíces a comienzos del siglo XX, cuando el matemático francés Louis Bachelier presentó en 1900 su tesis doctoral "Teoría de la especulación", considerada una de las primeras aproximaciones cuantitativas al comportamiento de los precios financieros. En su trabajo, Bachelier modeló las fluctuaciones de los precios como un proceso de movimiento browniano (un concepto que aún no había sido formalizado por la física), anticipando así muchas ideas que luego serían retomadas y refinadas en la teoría financiera moderna. (Jarrow, 1999)

Décadas más tarde, autores como Paul Samuelson y Robert Merton profundizaron estos conceptos, allanando el camino para un avance decisivo en 1973: el desarrollo del modelo de Black-Scholes. Este modelo introdujo un marco analítico riguroso para la valoración de opciones europeas, bajo el supuesto de que el precio del activo subyacente sigue un movimiento browniano geométrico. Entre sus principales innovaciones destaca la construcción de un portafolio de cobertura dinámico, libre de riesgo, que permitió derivar una fórmula cerrada para calcular el valor teórico de una opción. Esta formulación marcó un antes

y un después en la teoría financiera, consolidando las bases del enfoque cuantitativo para valorar derivados. (Jarrow, 1999)

Con el paso del tiempo, surgieron adaptaciones y extensiones de este modelo, destinadas a capturar mejor las particularidades de los mercados reales y a reflejar de manera más fiel el comportamiento observado en los precios.

2.3 Modelo de Black and Scholes

El modelo Black-Scholes, es probablemente la fórmula más importante de los últimos tiempos en la teoría financiera y es hoy en día, la fórmula con más uso entre los operadores de opciones y que más investigaciones y/o adaptaciones ha recibido.

El modelo original proporciona una solución analítica para valorar opciones europeas sobre acciones, en la cual el valor de la opción se formula en términos del precio del activo subyacente. (Black & Scholes, 1973)

Los autores asumen algunas “condiciones ideales” de mercado para la opción y acción.

- A. El precio de la acción sigue un proceso de caminata aleatoria en tiempo continuo, con distribución logarítmico-normal y volatilidad y rendimiento esperados constantes.
- B. De lo anterior, se desprende que los por retornos de la acción siguen una distribución normal.
- C. La opción es europea (solo puede ser ejercida al vencimiento) y la acción no paga dividendos
- D. No hay costos de transacción ni impuestos a la hora de operar.
- E. Es posible prestar y tomar prestado a la tasa libre de riesgo, la cual resulta constante a lo largo del plazo de vida de la opción.
- F. Las ventas en corto de acciones están permitidas. Todos los valores son perfectamente divisibles
- G. No hay oportunidades de arbitrajes libres de riesgo.

La ausencia de oportunidades de arbitraje es uno de los ejes centrales a la hora de comprender el modelo. En caso de poder establecerse un portafolio libre de riesgo, compuesto por una posición en una opción y una posición en el subyacente, el portafolio deberá rendir la tasa libre de riesgo. La razón que hace posible el establecimiento del portafolio libre de riesgo es que tanto la acción como la opción se ven afectadas por la misma fuente primaria de incertidumbre: los movimientos de precios de las acciones. Cuando se establece un portafolio adecuado de la opción y de la acción, la ganancia o pérdida proveniente de la posición sobre la acción compensa la ganancia o pérdida derivada de la posición en la opción. De esta manera, el valor general del portafolio al final del periodo corto se conoce con certeza. (Hull, 2014)

Las ecuaciones de Black-Scholes para valorar un call o un put europeo quedan definidas por:

$$c = S_0 * N(d1) - K * N(d2) * e^{-rt}$$

$$p = K * N(-d2) * e^{-rt} - S_0 * N(-d1)$$

donde:

$$d1 = [\ln(S_0/K) + (r + \sigma^2/2) * T] / (\sigma \cdot \sqrt{T})$$

$$d2 = d1 - \sigma \cdot \sqrt{T}$$

Siendo:

c: prima del call

p: prima del put

N(x): probabilidad de que una variable con una distribución normal estándar tenga un valor menor que x

K : precio de ejercicio

S₀: precio de la acción

r: tasa libre de riesgo

T: tiempo al vencimiento

σ: volatilidad de los retornos de la acción

Nótese que las fórmulas descritas no incluyen las preferencias de riesgo de los inversores y esto es así porque las opciones se valúan según el principio de valuación neutral al riesgo. En este “mundo” el rendimiento esperado de todos los activos negociados será la tasa libre de riesgo, sin importar el nivel de riesgo asumido. Esto no quiere decir que los inversores no son aversos al riesgo, sino que los derivados pueden valuarse bajo ese supuesto ya que, con cobertura adecuada, es posible eliminar los riesgos. (Hull, 2014)

Desde un enfoque intuitivo, d1 puede interpretarse como una medida ajustada del grado de “moneyness” de la opción: cuantifica qué tan lejos está el precio actual del activo subyacente respecto al precio de ejercicio, teniendo en cuenta no solo la diferencia entre estos precios, sino también la volatilidad esperada y el tiempo restante hasta el vencimiento. De esta forma, d1 integra en un solo valor la expectativa de movimiento del precio y el costo de oportunidad de mantener la opción (a través de la tasa libre de riesgo). (Ward, 2004)

Por su parte, d2 se obtiene restando a d1 un ajuste relacionado con la incertidumbre futura. Esto refleja de manera más directa la probabilidad de que la opción termine “in-the-money” al vencimiento.

Ambos coeficientes se utilizan dentro de la función de distribución normal acumulada, N(x), que convierte estos valores en probabilidades asociadas con los escenarios futuros de precios. Gracias a esta transformación, el modelo puede calcular el valor presente de la opción como una expectativa ponderada de esos posibles escenarios, descontados a la tasa libre de riesgo. Así, la fórmula resultante estima cuánto vale hoy una opción en función de qué tan probable es que genere beneficios en el futuro y cuál sería su magnitud esperada. (Ward, 2004)

Cabe destacar que la obtención de la fórmula de Black-Scholes se basa en herramientas del cálculo estocástico, particularmente en la aplicación del lema de Itô. La derivación matemática completa excede los objetivos de este trabajo. No obstante, no significa que podamos ignorar su lógica ni su razonamiento: comprender cómo está pensada y estructurada la fórmula resulta esencial para captar la manera en que se relacionan sus componentes.

Un operador capaz de hacer esto podrá adaptar los parámetros según cada situación de mercado que enfrente, aprovechando mejor la herramienta teórica para la toma de decisiones. A continuación, describiremos el parámetro central del modelo Black-Scholes: la volatilidad.

2.4 Volatilidad: una primera aproximación

La volatilidad es una medida de incertidumbre acerca de los movimientos de precios de un activo financiero. En el caso de las acciones, suele ser representada como el desvío estándar del retorno de los precios. (Hull, 2014)

Más allá del modelo de valuación empleado, una opción no tendría valor en ausencia de volatilidad. Sin la posibilidad de que el precio del activo subyacente varíe, no existiría incentivo alguno para tomar posiciones especulativas ni para implementar estrategias de cobertura. Por ello, a menudo se dice que los mercados de opciones son, en realidad, mercados de volatilidad, donde lo que realmente se negocia es la incertidumbre sobre el comportamiento futuro de los precios. (Trost, 2024)

A pesar de que hay muchas formas de interpretar el concepto, el valor de una opción depende de un solo tipo de volatilidad y esta es la volatilidad que tendrá el activo subyacente a lo largo de la vida de la opción. En esta línea, según Natenberg(2015), la volatilidad puede ser concebida como:

- **Volatilidad Futura:** es la volatilidad que el mercado quiere estimar, que describe la distribución futura de precios del activo subyacente, permitiendo calcular las probabilidades teóricas correctas. Lógicamente, es imposible predecir con precisión en el 100% de los casos.
- **Volatilidad histórica:** como no podemos predecir el futuro, los operadores pueden estimar la volatilidad futura mediante el uso de información pasada, a partir de los rendimientos históricos del activo. Es una medida ex post y existen muchas maneras de calcularla. Los métodos más simples dependen de dos parámetros, el periodo histórico en el cual la volatilidad es calculada y el intervalo de tiempo entre cambios de precios.
- **Volatilidad implícita:** una forma comúnmente utilizada para ver qué volatilidad está “puesta en precios” por los operadores es asumir que el mercado en general está utilizando un mismo modelo teórico, por ejemplo, Black-Scholes. Si mantenemos el resto de los inputs constantes (tiempo al vencimiento, precio de ejercicio, activo subyacente y tasa de interés) y utilizamos el precio de mercado como referencia, podremos obtener la volatilidad implícita en el precio de la prima. Es decir, podría interpretarse como un consenso de mercado de la volatilidad futura esperada. Mientras que las volatilidades históricas presentan una retrospectiva, las volatilidades implícitas presentan una prospectiva.

2.5 Volatilidad condicional: Modelos Autorregresivos

Como se detalló en el punto 2.3, el modelo de Black-Scholes asume que la volatilidad del activo subyacente es constante a lo largo del tiempo. Sin embargo, esta suposición dista

considerablemente del comportamiento observado en los mercados reales. En la práctica, la volatilidad no es estática a lo largo de la vida de la opción: fluctúa en respuesta a factores macroeconómicos, eventos geopolíticos, anuncios de las empresas, niveles de liquidez y shocks de mercado.

Además, la volatilidad muestra dos patrones empíricos:

- Presenta el fenómeno conocido como *volatility clustering*, según el cual los períodos de alta volatilidad tienden a ser seguidos por otros igualmente inestables, mientras que los períodos de calma también suelen persistir. Este comportamiento refleja una autocorrelación en la varianza condicional.
- Se observa una tendencia a la *reversión a la media*, es decir, que la volatilidad tiende a fluctuar alrededor de un nivel promedio de largo plazo. (Natenberg, 2015)

Ambos fenómenos serán comprobados en la sección tres del presente trabajo. Frente a estas características, surge la necesidad de adoptar modelos más flexibles que permitan estimar una volatilidad condicional al tiempo, que puedan capturar adecuadamente la dinámica temporal de los retornos. Uno de los modelos más utilizados es el modelo GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity).

El modelo GARCH(1,1) ha demostrado ser especialmente eficaz en la modelización de series financieras. Su designación (1,1) indica que la varianza condicional actual depende de un único rezago del cuadrado del retorno (componente ARCH) y un único rezago de la propia varianza condicional estimada (componente GARCH). (Hull, 2014)

La ecuación del modelo queda definida por:

$$\sigma_t^2 = \gamma VL + \alpha \mu_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$$

Donde γ es el peso asignado a la varianza de largo plazo, α es el peso asignado al retorno del día previo y β es el peso asignado a la varianza del día anterior.

Para simplificar la notación, suele reemplazarse el término γVL por una constante ω , obteniendo así la forma más habitual de la ecuación:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \mu_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$$

Este modelo permite capturar tanto la persistencia de la volatilidad (*clustering*) como su naturaleza autorregresiva (tendencia a revertir hacia un nivel promedio). Gracias a estas capacidades, el modelo GARCH(1,1) se ha consolidado como una herramienta ampliamente empleada por la industria financiera para la estimación y proyección de la volatilidad. Esta utilidad será analizada y contrastada empíricamente en las secciones 3 y 4 del trabajo.

3. Metodología y análisis comparativo

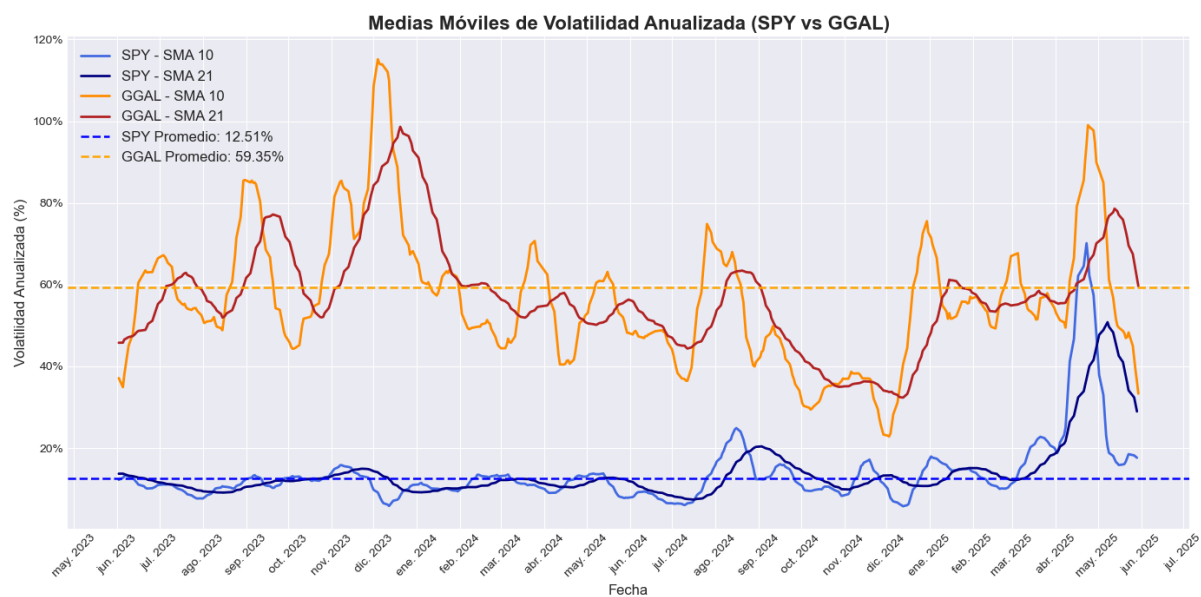
3.1 Estimación de volatilidad histórica

Al incorporar una medida de volatilidad en un modelo de valuación, estamos definiendo la magnitud y frecuencia esperada de los cambios en el precio del activo subyacente durante la

vida de la opción. En la práctica, los mercados atraviesan períodos de alta y baja volatilidad, y es la combinación de ambos lo que determina la volatilidad futura del activo. Si el valor de volatilidad utilizado no refleja adecuadamente los movimientos futuros del mercado, las probabilidades implícitas en el modelo serán incorrectas, lo que resultará en precios teóricos que no se ajustan a las condiciones del mercado. (Natenberg, 2015)

Un primer paso para la estimación consiste en calcular la volatilidad histórica del activo, la cual se estima comúnmente como el desvío estándar de los retornos. En este análisis, utilizaremos los retornos diarios, aunque también podrían emplearse retornos semanales o mensuales, obteniendo resultados comparables. El periodo de análisis fue de dos años (mayo 2023-mayo 2025).

En el siguiente gráfico se presentan dos estimaciones de volatilidad diaria anualizada del ETF SPY y de la acción Grupo Financiero Galicia, construidas a partir de ventanas móviles(simples) de distinta duración. La elección del tamaño de la ventana implica un trade-off entre velocidad de detección de cambios de tendencias y ruido: ventanas más cortas responden con mayor agilidad a los cambios, pero capturan también un mayor nivel de ruido; en cambio, ventanas más largas generan estimaciones más suaves y estables, aunque reaccionan con mayor demora ante variaciones significativas. Más allá del horizonte temporal utilizado, se observa una clara tendencia de la volatilidad a revertir hacia su media histórica:



Fuente: Elaboración propia en base a Investing

Este comportamiento sugiere que la reversión hacia una media de largo plazo no es exclusiva de los activos de mercados desarrollados, sino que también se manifiesta en activos de mercados emergentes, aunque lógicamente con niveles absolutos de volatilidad más elevados. Con el objetivo de respaldar estadísticamente este fenómeno, se aplicó el test ADF (Augmented Dickey-Fuller), una prueba ampliamente utilizada para detectar la presencia de raíz unitaria en series temporales. Rechazar la hipótesis nula de este test indica que la serie es estacionaria, lo que sugiere que fluctúa en torno a una media constante.

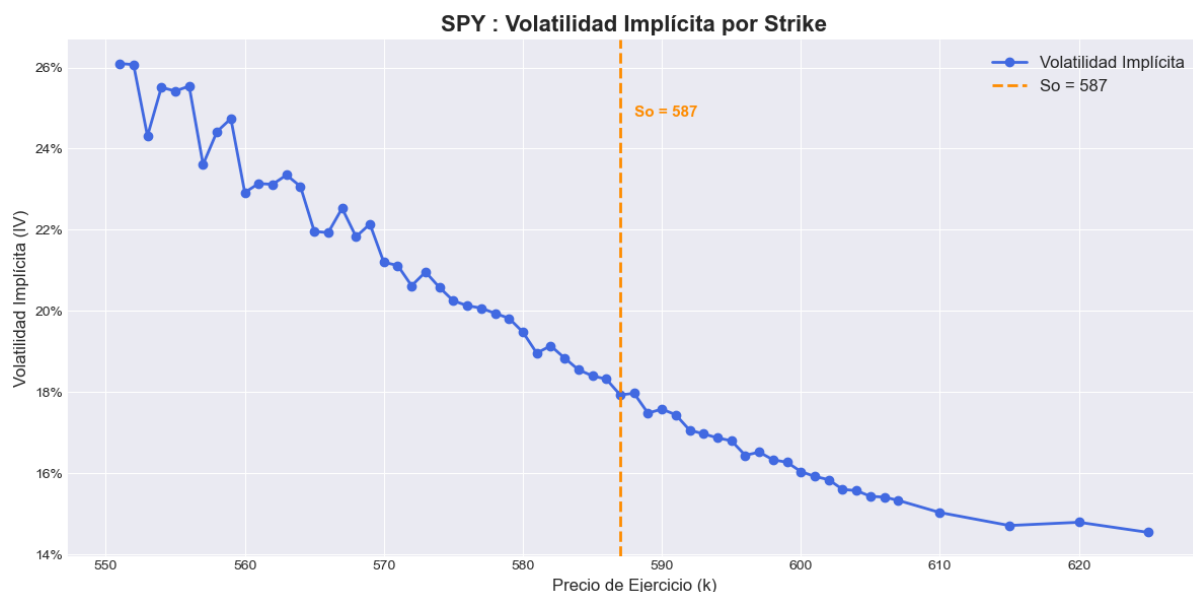
En este estudio, los resultados obtenidos permitieron rechazar la hipótesis nula en ambos casos analizados, permitiéndonos inferir la presencia de reversión a la media en la volatilidad tanto para el SPY como para GGAL.

Cabe destacar que incluso tras episodios de volatilidad extrema la serie muestra una marcada reversion hacia sus niveles históricos. Esto se denota en fenómenos como el “Liberation Day” (abril de 2025) o las elecciones presidenciales de 2023 (caso particular del mercado argentino).

3.2 Estimación de volatilidad implícita

Tal lo aludido en la sección 2 del presente trabajo, la volatilidad observada en los mercados no refleja las características enunciadas en el modelo de Black-Scholes. A continuación, demostraremos la volatilidad futura esperada por el mercado para cada activo subyacente.

En el siguiente gráfico, pueden observarse las volatilidades implícitas del día 28 de mayo para las opciones de compra del SPY, con vencimiento en el 20 de junio.



Fuente: Elaboración propia en base a Interactive Brokers. 28 de mayo de 2025

La figura observada es conocida como mueca de volatilidad, por la forma que adopta la volatilidad implícita cuando se la grafica en función del precio de ejercicio de las opciones sobre un mismo activo subyacente (SPY) y para una misma fecha de vencimiento (20 de junio). Este patrón comienza a observarse a partir del lunes negro de 1987, cuando los mercados bursátiles globales sufrieron una caída estrepitosa, dejando una marca indeleble de miedo a derrumbes en masa (Lamothe & García, 2004).

Según Natenberg (2015), en los mercados financieros, la mayoría de los inversores mantienen posiciones largas en acciones, lo que implica una preocupación predominante por posibles caídas en los precios. En este contexto, las dos estrategias de cobertura más utilizadas para proteger una posición larga en el activo subyacente son el protective put (posición larga en la acción combinada con la compra de una opción put) y el covered call (posición larga en la acción junto con la venta de una opción call).

En el caso del protective put, un inversor adquiere una opción de venta para limitar sus pérdidas en caso de que el precio de la acción disminuya. Sin embargo, dado que los puts in-the-money (ITM) ofrecen mayor protección pero son más costosos, muchos inversores optan por comprar puts out-of-the-money (OTM), que tienen precios de ejercicio más bajos y

son más accesibles, aunque brinden una cobertura más limitada. Esta elección responde al sesgo alcista típico del inversor, quien generalmente espera que los precios se mantengan o suban, utilizando la opción como un seguro de bajo costo ante caídas más pronunciadas.

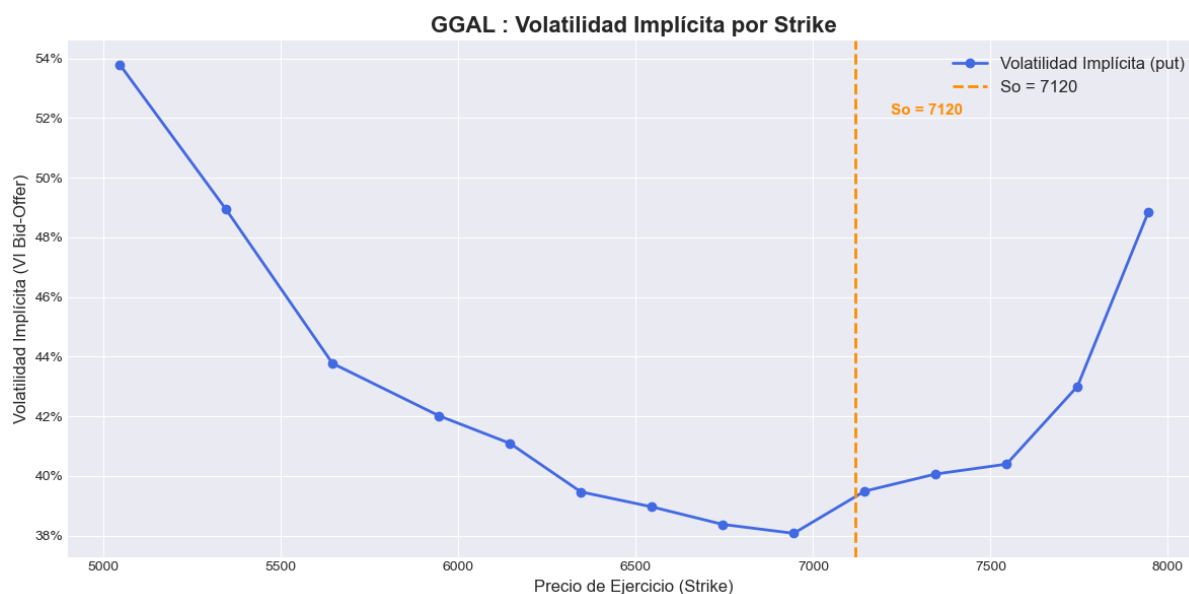
Por otro lado, cuando el inversor decide implementar una estrategia de covered call, lo habitual es que venda una call con un precio de ejercicio superior al precio actual de mercado. Esta decisión permite generar ingresos adicionales (prima) sin renunciar completamente a la posibilidad de capturar parte de la suba esperada del activo. Si bien vender calls ITM proporcionaría una mayor cobertura, también limitaría en mayor medida las ganancias potenciales. Por ello, la mayoría de los covered calls se realizan con precios de ejercicio más elevados.

Como consecuencia de este comportamiento generalizado, en el mercado de opciones sobre acciones se genera una presión compradora sobre los precios de ejercicio bajos (por la demanda de puts OTM para cobertura) y una presión vendedora sobre los precios de ejercicio altos (por la venta de calls OTM como parte de covered calls). Este desequilibrio contribuye a una estructura asimétrica de la volatilidad implícita: las opciones con precios de ejercicio bajos tienden a reflejar volatilidades implícitas más altas, mientras que las opciones con precios de ejercicio más altos exhiben volatilidades implícitas más bajas. El resultado de este fenómeno es la curva asimétrica observada en la figura precedente.

En el caso argentino, tomando como referencia las cadenas de opciones de venta de Grupo Financiero Galicia al 28 de mayo, se observaron mayores dificultades metodológicas para estimar correctamente la volatilidad implícita. Las principales causas fueron la falta de liquidez, el bajo volumen de operaciones y la escasa cantidad de precios de ejercicio disponibles por vencimiento. Como resultado, se constató una amplia dispersión entre las últimas puntas de bid y offer de las primas de las opciones.

Para mitigar este problema, se optó por una estrategia de aproximación: tomar el precio de la punta compradora (bid) y el precio de la punta vendedora (offer) a un mismo momento temporal. Una vez obtenido el precio promedio, se avanzó con el cálculo de la volatilidad implícita.

A diferencia de lo observado en el SPY, donde se presenta una mueca de volatilidad, Galicia muestra una “sonrisa” de volatilidad:



Fuente: Elaboración propia en base a BYMA. 28 de mayo 2025

Esta sonrisa simétrica puede interpretarse como una mayor incertidumbre del mercado ante movimientos extremos en ambas direcciones. Los agentes del mercado local no sólo temen caídas abruptas, sino también subas fuertes.

Los gráficos precedentes, más allá de su modelado teórico, tienen gran aplicación práctica. Permiten ver con claridad cómo el mercado asigna diferentes volatilidades implícitas a cada precio de ejercicio. Desde una perspectiva teórica, si los precios de las opciones reflejaran plenamente toda la información disponible que afecta al valor del contrato, la volatilidad implícita debería representar la mejor estimación del mercado sobre la volatilidad futura. No obstante, estudios empíricos (Natenberg, 2015) han demostrado que, en promedio, la volatilidad realizada suele ser inferior a la volatilidad implícita incorporada en los precios de las opciones.

Si un operador considera que la volatilidad implícita asignada por el mercado a un determinado strike está sobredimensionada o subestimada, es decir, si cree que el mercado “está equivocado”, podrá explotar esta diferencia mediante distintas estrategias de compra o venta de volatilidad.

3.3 Estimación de volatilidad: Modelo GARCH (1:1)

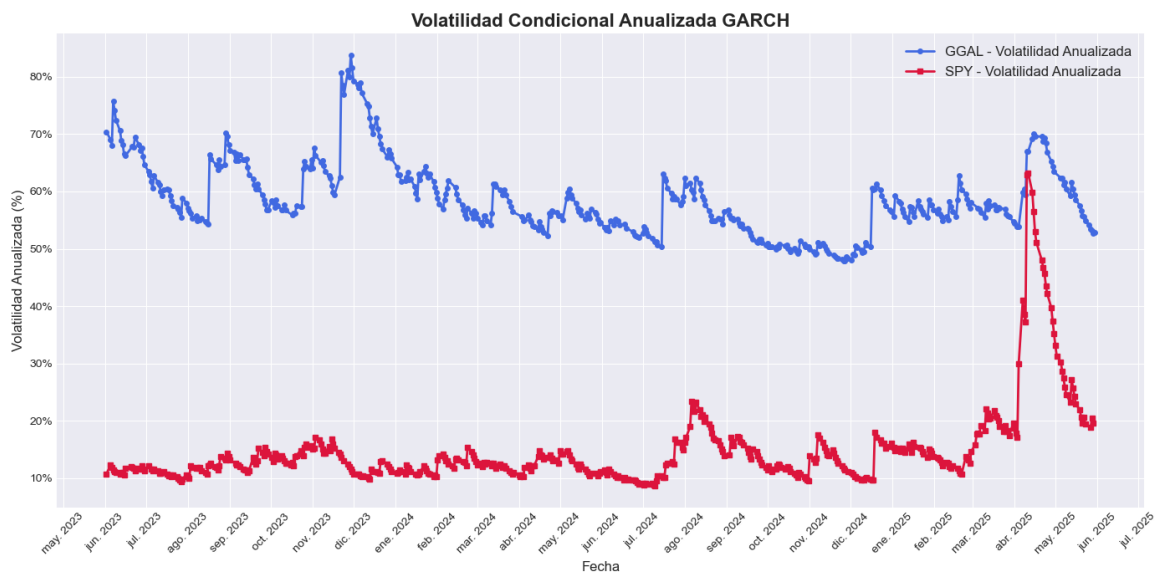
Como mencionamos anteriormente, el modelo GARCH(1,1) permite modelar la varianza condicional de los retornos incorporando efectos propios de la volatilidad como el clustering y la reversión a la media. En esta sección, avanzamos con su implementación empírica sobre las series de retornos diarios de SPY y GGAL.

La ecuación definida fue:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \mu_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$$

Se empleó la misma fuente de información y el mismo período temporal que en el análisis previo de la volatilidad histórica, con el objetivo de mantener la consistencia metodológica.

Para la estimación de la volatilidad condicional se utilizó la librería “arch” de Python, que permite implementar de forma eficiente modelos GARCH. A continuación, se detallan los resultados obtenidos:



Fuente: Elaboración propia en base a Investing

Parámetro	GGAL		SPY	
	Valor	p-valor	Valor	p-valor
omega	0,0006	0,00003	0,000021	~0, 00
alpha	0,0344	0,00071	0,10	0,0001
beta	0,9100	~0, 00	0,88	~0, 00

Ambos activos presentaron valores bajos del parámetro ω (menores a 0,001), lo que indica que, en ausencia de shocks recientes, la varianza de largo plazo es reducida tanto en SPY como en GGAL. En ambos casos, los p-valores asociados a ω son prácticamente cero, lo que confirma que este parámetro es estadísticamente significativo, es decir, distinto de cero con alto nivel de confianza.

El parámetro α , que mide el impacto inmediato de los shocks (retorno del día previo) sobre la volatilidad, fue estimado en 0,10 para SPY, reflejando una respuesta marcada a los movimientos recientes del mercado. En cambio, en GGAL este coeficiente fue más bajo, en torno a 0,03, lo que indica una sensibilidad menor a los retornos del día anterior. Ambos valores son estadísticamente significativos (p-valores < 0,001), por lo que el efecto de los shocks recientes sobre la volatilidad puede considerarse robusto desde el punto de vista estadístico. Esta diferencia de parámetros no implica que GGAL sea menos volátil; por el contrario, sugiere que la aparición de shocks es más frecuente y, por lo tanto, su efecto marginal resulta amortiguado. Podría inferirse que el mercado parece “acostumbrado” a la aparición de eventos de riesgo, lo que reduce su impacto relativo.

El coeficiente β , que captura la persistencia de la volatilidad (efecto de clustering), fue elevado en ambos activos: 0,88 en SPY y 0,92 en GGAL. Ambos parámetros presentan p-valores prácticamente nulos (~0), lo que indica una alta significancia estadística. Esto implica que tanto los períodos de alta como de baja volatilidad tienden a extenderse en el

tiempo, aunque con una dinámica algo más prolongada en el caso de GGAL, reflejando una menor velocidad de reversión a la media.

Estos resultados, tal cual lo dicho en la sección 2.5, evidencian la relevancia de modelar la volatilidad incorporando el efecto de “volatility clustering”. Ignorar esta característica empírica observada podría conducir a errores sistemáticos en la estimación de volatilidad, afectando de manera directa la valoración de opciones.

4. Resultados y proyecciones

Con el objetivo de contrastar las estimaciones de volatilidad obtenidas mediante distintos enfoques con la dinámica efectivamente observada en los precios, se propone un ejercicio de comparación sobre un mismo horizonte temporal.

El período analizado abarca los nueve días hábiles comprendidos entre el 20 y el 30 de mayo de 2025, utilizando el 20 de mayo como fecha de referencia para la extracción de la cadena de opciones del SPY, correspondiente a contratos con vencimiento el 30 de mayo.

A partir de dicha cadena, se obtienen las volatilidades implícitas asociadas a distintos precios de ejercicio, lo que permite reconstruir la expectativa del mercado sobre la volatilidad futura. De forma simultánea, se estima, al 20 de mayo, la volatilidad condicional esperada mediante un modelo GARCH(1,1). Finalmente, una vez transcurrido el período, se calcula la volatilidad realizada ex post, a partir de los retornos diarios efectivamente observados entre el 21 y el 30 de mayo.

4.1 Proyección de volatilidad: Modelo GARCH (1:1)

Como primer paso, se estimó un modelo GARCH(1,1) para proyectar la volatilidad condicional del SPY a partir de una ventana corta de observación, siguiendo las recomendaciones de Natenberg (2015), quien sugiere priorizar observaciones recientes cuando el horizonte de proyección es breve. Para ello, se utilizaron los retornos diarios entre el 20 de abril y el 20 de mayo de 2025.

Una vez estimado el modelo, se procedió a realizar una simulación de Monte Carlo respetando la dinámica recursiva propia del GARCH(1,1). El modelo asume que los retornos diarios r_t siguen la siguiente estructura:

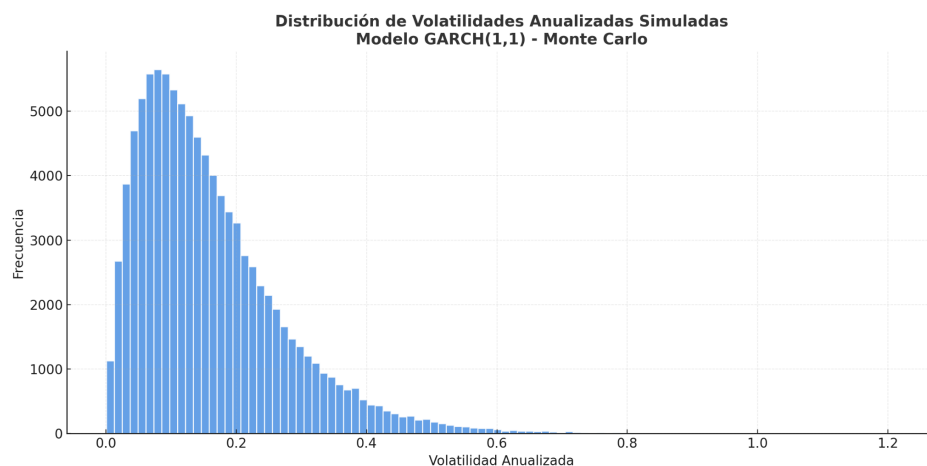
$$r_t = \mu + \varepsilon_t \quad , \text{donde} \quad \varepsilon_t = z_t * \sigma_t \quad z_t \sim N(0,1)$$

Los retornos están compuestos por una media constante(μ) más un componente aleatorio(ε_t), que representa el shock del día. Este shock se genera multiplicando un valor aleatorio(z_t) por la raíz cuadrada de la varianza condicional. Esta no permanece constante, sino que evoluciona de forma recursiva según:

$$\sigma_{t+1}^2 = \omega + \alpha \varepsilon_t^2 + \beta \sigma_t^2$$

Es decir, la varianza condicional para el siguiente día depende del tamaño del shock actual (ϵ_t) y del nivel de varianza actual (σ_t^2). La simulación parte del valor de varianza condicional estimado al cierre del 20 de mayo. A partir de ese punto, se generan 100.000 trayectorias de retornos y varianzas condicionales para el período entre el 21 y el 30 de mayo (8 días hábiles). En cada paso, se sortean shocks aleatorios (z_t), a partir de los cuales se calcula el shock del retorno (ϵ_t) y se actualiza la varianza condicional (σ_t^2).

Con las 100.000 observaciones generadas se construye la siguiente distribución de volatilidades esperadas:



Fuente: Elaboración propia en base a Investing

A partir de esta distribución se extraen tres estadísticos clave:

Escenario	Volatilidad proyectada
p25	13,6%
Media	16,9%
p75	20,3%

Estos valores representan tres escenarios alternativos de volatilidad futura: baja, media y alta.

Comparando las proyecciones obtenidas con la volatilidad efectivamente realizada (17,2%), se observa que los escenarios generados por el modelo GARCH(1,1) fueron bastante precisos en la estimación de la volatilidad futura. Esto sugiere que el modelo logró capturar adecuadamente las dinámicas subyacentes de la volatilidad.

Sin embargo, para enriquecer el análisis y mejorar la calidad de las proyecciones, resulta fundamental complementar los modelos estadísticos con un análisis de la coyuntura económica y geopolítica. Esto es especialmente importante en contextos de alta incertidumbre, donde los fundamentos macroeconómicos pueden cambiar rápidamente y afectar de forma significativa las condiciones del mercado.

Por ejemplo, si un operador anticipara un aumento en la volatilidad debido a una escalada en los conflictos comerciales a nivel global, podría optar por utilizar en su análisis un valor

correspondiente a un percentil alto de la distribución, que refleje mejor un escenario adverso. Por el contrario, un operador con una visión más optimista podría incorporar en sus modelos de valuación niveles de volatilidad más bajos, asociados a percentiles inferiores, coherentes con un contexto de mayor estabilidad. Este enfoque flexible permite ajustar las decisiones a distintas expectativas de mercado, aprovechando la gama de escenarios que el modelo ofrece. En última instancia, el verdadero valor agregado radica en comprender el modelo en profundidad y saber adaptar sus parámetros según la propia visión del mercado.

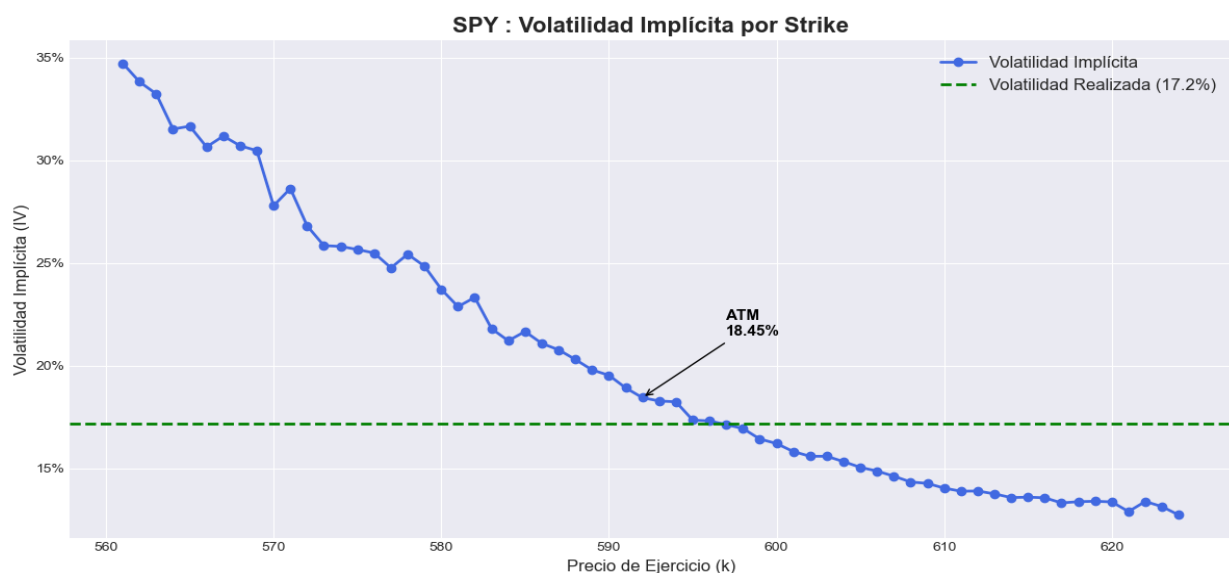
Por último, es importante aclarar que esta coincidencia puntual entre las proyecciones y la volatilidad realizada no permite concluir, por sí sola, la robustez del modelo. Para evaluar su desempeño de manera rigurosa, sería necesario aplicar el modelo a un conjunto más amplio de casos y analizar su comportamiento en distintos contextos de mercado.

No obstante, estos primeros resultados constituyen un punto de partida valioso para elevar el nivel del análisis, ya que demuestran el potencial del enfoque para capturar dinámicas relevantes y generar escenarios útiles para la toma de decisiones.

4.2 Proyección en base a la volatilidad implícita

La volatilidad implícita, como se explicó anteriormente, refleja la expectativa del mercado sobre la volatilidad futura del activo subyacente, y se calcula a partir de los precios de las opciones utilizando el modelo de Black-Scholes. Cabe destacar que, cuando se hace referencia a la volatilidad implícita general, suele considerarse la correspondiente a las opciones at-the-money. (Natenberg, 2015)

En esta línea, en base a la cadena de opciones de compra del SPY al cierre del 20 de mayo, observamos la siguiente estructura:



Fuente: Elaboración propia en base a Investing. 20 de mayo 2025

Se observa que el consenso de mercado sobreestimó la volatilidad futura, dado que la volatilidad implícita resultó superior a la volatilidad realizada, que fue del 17,2%. Esta divergencia puede interpretarse como una señal de cautela por parte de los inversores,

quienes, en un contexto de elevada incertidumbre internacional, asignaron un mayor valor a la cobertura frente a eventos de riesgo.

Esta tendencia se manifiesta de forma más marcada en las opciones fuera del dinero (OTM), y en particular en las deep OTM, las cuales reflejaron niveles significativamente más altos de volatilidad implícita. Tal como se analizó en la sección 3.2, los inversores estuvieron dispuestos a pagar primas más elevadas por esta protección, lo que se traduce en una sobrestimación de la volatilidad implícita en dichos precios de ejercicio.

En caso de querer profundizar en el uso de la volatilidad implícita y su impacto en la valuación de opciones, sería necesario incorporar aspectos como la estructura temporal de la volatilidad, así como también las principales medidas de sensibilidad que la afectan, comúnmente conocidas como letras griegas (*theta*, *gamma*, *vega*, entre otras). Estas simplificaciones, sin embargo, responden a una decisión metodológica deliberada, orientada a focalizar el análisis en los elementos esenciales y accesibles para un estudio introductorio del concepto de volatilidad.

5. Conclusiones

A lo largo de este trabajo se abordó el fenómeno de la volatilidad como una dimensión clave para comprender la dinámica de la valuación de opciones. La volatilidad, más que un simple parámetro técnico, es un reflejo cuantificable de la incertidumbre, el riesgo percibido y la sensibilidad de los precios ante eventos extremos. Comprender sus características, como el clustering y la reversión a la media, no es solo un ejercicio estadístico, sino una necesidad analítica para quienes desean interpretar o anticipar movimientos del mercado.

En esta línea, se demostró que no existe un único modelo capaz de capturar toda la complejidad de la volatilidad futura. Las medidas histórica, implícita y condicional (modelada mediante GARCH) deben entenderse como herramientas complementarias, cada una con fortalezas específicas según el contexto de aplicación.

Para que cualquier herramienta teórica se convierta en una ventaja práctica, resulta imprescindible comprender los modelos de valuación. Conocer su lógica interna, sus supuestos y limitaciones permite adaptar su aplicación a la dinámica de mercado esperada.

Muchas veces, los modelos más difundidos, como Black-Scholes, persisten más por inercia que por eficacia. Cuestionarlos, revisarlos y proponer mejoras no constituye un acto de ruptura, sino una expresión de madurez científica y técnica. Como advirtió Keynes: “La dificultad no radica en las nuevas ideas, sino en escapar de las antiguas.”

Referencias

- Black, F., & Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *The Journal of Political Economy*, 81(3), 637-654.
- Hull, J. (2014). *Introducción a los mercados de futuros y opciones* (8va ed.). Pearson.
- Jarrow, R. A. (1999). In Honor of the Nobel Laureates Robert C. Merton and Myron S. Scholes: A Partial Differential Equation That Changed the World. *Journal of Economic Perspectives*, 13(4), 229-248.
- Lamothe, P., & García, P. (2004). LA VOLATILIDAD IMPLÍCITA EN LAS OPCIONES SOBRE ÍNDICES BURSÁTILES. PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN.
- Natenberg, S. (2015). *Option Volatility and Pricing*. Mc Graw Hill.
- Rhoads, R. (2011). *Option Spread Trading*. Wiley.
- Trost, A. P. (2024). Aplicación de Modelos de Valuación de Opciones en el Mercado Argentino: un abordaje empírico. *Lecturas BCR*.
- Ward, R. (2004). *Options and Options Trading*. McGraw-Hill.