

Estrategia paracaídas: propuesta de cobertura para el mercado bursátil mexicano ante la llegada de ómicron

Parachute strategy: hedging proposal for the Mexican stock market in the face the arrival of omicron

Recibido:15/enero/2022; aceptado:10/agosto/2022; publicado:01/septiembre/2022

<https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2022v37n96/Olivares>

*Héctor Alonso Olivares Aguayo**

RESUMEN

El objetivo de la investigación es proponer una mejor estrategia de cobertura de la volatilidad con opciones financieras europeas sobre el principal índice del mercado mexicano (S&P BMV/IPC) que brinde una mayor protección respecto a las estrategias tradicionales ante la llegada de la variante ómicron a México. Se realiza un análisis inter temporal de corto plazo considerando pronósticos mensuales en el precio del S&P BMV/IPC a través del modelo econométrico SARIMAX para diversas estrategias de volatilidad tradicionales (cono corto, cuna corta y mariposa) y para la estrategia paracaídas propuesta. Los resultados muestran que la estrategia paracaídas empíricamente es la mejor, y una alternativa viable para hacer frente a los impactos futuros ocasionados por la variante ómicron. Como limitación no se consideran costos de comisión en los contratos de opciones financieras. El trabajo es original porque vislumbra los primeros hallazgos de la variante ómicron en el mercado mexicano. Se concluye que la estrategia paracaídas es mejor respecto a las tradicionales y brinda una mayor protección ante cambios drásticos en el precio futuro del S&P BMV/IPC.

Palabras clave: COVID-19; inversión; opciones financieras.

Clasificación JEL: G17; G32; I18.

ABSTRACT

The objective of the research is to propose a better volatility hedging strategy with European financial options on the main index of the Mexican market (S&P BMV/IPC) that provides greater protection compared to traditional strategies in the face of the arrival of the omicron variant in Mexico. A short-term intertemporal analysis is performed considering monthly forecasts in the price of the S&P BMV/IPC through the SARIMAX econometric model for various traditional volatility strategies (straddle, strangle and butterfly) and for the proposed parachute strategy. The results show that the parachute strategy is empirically the best, and a viable alternative to face the future impacts caused by the omicron variant. As a



Esta obra está protegida bajo
una Licencia Creative
Commons Reconocimiento-
NoComercial-
SinObraDerivada 4.0
Internacional

* Universidad La Salle, México. Correo electrónico: hectoralonso.olivares@lasalle.mx

limitation, commission costs are not considered in financial option contracts. The work is original because it glimpses the first discoveries of the o micron variant in the Mexican market. It is concluded that the parachute strategy is better compared to the traditional ones and provides greater protection against drastic changes in the future price of the S&P BMV/IPC.

Keywords: COVID-19; investment; financial options.

JEL Classification: G17; G32; I18.

INTRODUCCIÓN

La pandemia por COVID-19 ha tenido distintos tipos de variantes en el mundo, particularmente la variante ómicron proveniente de Sudáfrica ha tenido mayor afectación en el continente europeo en países como España y Reino Unido. América Latina no ha sido la excepción, en países como Argentina y Brasil, lo que ha llevado a que los países regresen nuevamente a las medidas de confinamiento para la prevención de la propagación del contagio por dicha variante. En México el primer caso con esta variante provino de un sudafricano radicado en México a partir del 21 de noviembre de 2021, sin embargo, hasta el día 03 de diciembre del mismo año es cuando se registró oficialmente el caso. Esta variante es extremadamente contagiosa dado que se han encontrado a la fecha diversas mutaciones, la más común es delta.

Vishnu et al. (2019), mencionan que la gestión de riesgos en el sector salud es importante, además de ser un área de investigación crucial desde el punto de vista humano. Tener una adecuada administración de riesgos debe identificar, medir y controlar los riesgos a los que se está expuesto (Capasso *et al.*, 2019). Por lo que esta investigación es útil para académicos, estudiantes y administradores de portafolios de inversión, entre otros profesionales interesados en llevar a cabo una correcta administración de riesgos buscando prevenir pérdidas monetarias brindando protección a través de distintas estrategias de inversión; que sirvan de cobertura ante los riesgos a los que se esté expuesto. Por tal razón, el objetivo de esta investigación es proponer una estrategia de volatilidad llamada “paracaídas” adecuada para poder hacer frente al riesgo financiero derivado de los cambios drásticos futuros que pudiera tener el principal índice del mercado mexicano (S&P BMV/IPC) desde la llegada de la variante ómicron a México, teniendo como hipótesis que la nueva estrategia propuesta brinda una mejor protección respecto a las estrategias de volatilidad tradicionales.

Esta investigación se ordena de la forma siguiente. Después de esta introducción se presenta la revisión de literatura. Luego, se presenta la metodología clásica de valuación de opciones financieras europeas y se definen las estrategias implementadas, posteriormente la presentación del modelo econométrico SARIMAX para series de tiempo. Luego, se presentan los resultados aplicados al S&P BMV/IPC. Seguidos de la discusión y finalmente la conclusión.

I. REVISIÓN DE LITERATURA

La aplicación econométrica es de gran utilidad para pronosticar los precios futuros de los activos financieros, algunas investigaciones aplicadas a índices bursátiles se pueden apreciar en Parisi y Guerrero (2003), quienes analizan las variaciones semanales del: BOVESPA, CAC40, Dow Jones Industry, FTSE100, GDAX, Hang Seng, KLSE, MMX, Nikkei225, STI y el S&P 500; mediante modelos de series de tiempo ARIMA los resultados muestran que independientemente de la significancia estadística de la capacidad de predicción del modelo, el rendimiento obtenido aumenta y por ende las posibles pérdidas en los índices analizados son reducidas. Por su parte Font (2004) propone un pronóstico a través de un procedimiento bayesiano para precios futuros del IBEX-35 incorporando estrategias con opciones financieras bajo supuestos de tendencia y volatilidad. Asimismo, Parisi, *et al.*, (2004) proponen algoritmos genéticos recursivos, para predecir el signo de las variaciones en los precios de cierre semanales de los índices

bursátiles: DJI, IPC, NASDAQ, y TSE. Realizan un comparativo entre el modelo univariado AR (1) y un modelo multivariado arbitrario. Los resultados muestran que los modelos elaborados por el algoritmo genético fueron mejores en rendimiento para los índices DJI, IPC y TSE, mientras que para el NASDAQ lo fue el modelo AR (1).

Box y Jenkins (1968) proponen adecuar el modelo a series no estacionarias, diferenciando la serie a niveles, removiendo la tendencia hasta obtener una serie estacionaria. Al respecto, Soto (2002) resalta la importancia que tiene en el análisis económico separar la volatilidad de sus componentes estacionales. La volatilidad autorregresiva en media es capturada, por ejemplo, en Romero (2004) se analiza el efecto de ésta en rendimientos. Los modelos ARIMA han evolucionado, obteniendo otro tipo de modelos como los SARIMA, por ejemplo, Pincheira y García (2012) los usan para investigar la precisión y estabilidad de los pronósticos de corto plazo para la inflación en Chile. Sus resultados indican que el error cuadrático medio fuera de la muestra es menor que el de los modelos univariados tradicionales, cuando el horizonte predictivo varía de 1 a 4 meses. Concluyendo que, la familia SARIMA ofrece pronósticos más estables que los modelos univariados tradicionales.

También el modelo SARIMA ha sido mejorado, con el modelo de media móvil integrado autorregresivo estacional con regresor externo (SARIMAX), al incorporar un parámetro exógeno en el modelo SARIMA, lo cual se ha comprobado empíricamente en investigaciones recientes, por ejemplo, Jain *et al.*, (2021) pronostican el número de contagios diarios por COVID-19 en India y Prilistya *et al.*, (2021) realizan el pronóstico para las llegadas de turistas a Indonesia en tiempos de COVID-19, Dutta y Roy (2021) predicen los niveles de contaminantes del aire en interiores, Cheng *et al.*, (2021) predicen la ocupación por horas del departamento de urgencias de un gran centro médico de Estados Unidos, Banaś y Utnik (2021) predicen el precio de madera de pino en Polonia, Manigandan *et al.*, (2021) pronostican la producción y el consumo de gas natural en Estados Unidos. También existen diversos estudios sobre electricidad, como lo son los trabajos de: Basmadjian *et al.*, (2021), Kim *et al.*, (2021), Pooniwal y Sutar (2021), Brusokas *et al.*, (2021), y Abunofal *et al.*, (2021). De este último se observa un pronóstico para los precios futuros de electricidad en Alemania para evitar pérdidas económicas y maximizar ganancias.

Black y Scholes (1973) presentan el modelo tradicional de valuación de opciones financieras del tipo europeo sin pago de dividendos, en este modelo se supone que el precio del activo subyacente se comporta como una función de densidad de probabilidad log normal con volatilidad constante, otros modelos que también consideran un comportamiento homocedástico en la volatilidad o tradicionalmente expresada como la desviación estándar son: Cox (1975), Christoffersen *et al.*, (2010), Hao y Zhang (2013), entre otros. Las estrategias con opciones financieras son de gran ayuda, ya que, al ser combinaciones de seguros financieros, permiten brindar protección ante cambios en el precio del activo subyacente a lo largo del tiempo, Font (2004) menciona que los instrumentos financieros derivados, son usados para fines de arbitraje, inversión o protección. Por ejemplo, Gao *et al.*, (2019) minimizan el Valor en Riesgo con una estrategia de protección óptima, Valadez y Ortiz (2020) analizan la protección de contratos futuros sobre el dólar americano en el Mercado Mexicano de Derivados (MexDer) y en el Chicago Mercantile Exchange (CME). Kim *et al.*, (2020) muestran que el desempeño de las estrategias con opciones financieras, brindan protección dependiendo del alza o baja del mercado. Mientras que El-Khatib y Hatemi (2020) analizan las sensibilidades en precios de un mercado en tiempos de crisis financiera bajo la expectativa de que las fórmulas obtenidas mejoran la precisión de la estrategia de protección.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Modelo Econométrico

Serie de tiempo

Una serie de tiempo se entiende como un conjunto de datos observados y ordenados a través del tiempo; se pueden encontrar diferentes tipos de series, algunas tienden a ser continuas en el tiempo, sin embargo, otras son discretas, pero están contenidas en pequeños intervalos, como son los precios de cierre de un activo financiero, con periodicidad: diaria, semanal, mensuales, bimestrales, trimestrales, semestral, etc.

La manera en que se representa matemáticamente una serie de tiempo es la siguiente.

$$y(t) = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_T \quad (1)$$

Para fines del pronóstico, es de interés modelar la serie de tiempo, denotado como \hat{y}_{T+1} para un tiempo posterior o \hat{y}_{T+2} para dos tiempos siguientes, etcétera.

Una serie de tiempo $y(t)$, se puede denotar como una función continua de forma polinomial de grado n con $n + 1$ coeficientes (observaciones).

$$f(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_nt^n \quad (2)$$

Por lo que $y_t = f(t)$ para toda t .

Operador diferencia

La función del operador diferencia es eliminar la tendencia, hasta que la autocorrelación sea prácticamente cero, volviendo a la serie estacionaria, sin embargo, con cada iteración de este operador, la serie tiende a perder información, por tal motivo si se tiene una serie ya estacionaria y/o con pocos datos, no es conveniente aplicar el operador de diferencia. Matemáticamente se define de la manera siguiente.

$$\begin{aligned} \nabla y_t &= y_t - y_{t-1} \\ \nabla &= 1 - B \\ \nabla y_t &= (1 - B)y_t \\ y_t - By_t \\ y_t - y_{t-1} \\ \nabla^2 y_t &= \nabla(\nabla y_t) = (1 - B)(1 - B)y_t \\ \nabla(y_t - y_{t-1}) \\ \nabla y_t - \nabla y_{t-1} \\ y_t - y_{t-1} - (y_{t-1} - y_{t-2}) \\ y_t - y_{t-1} - y_{t-1} + y_{t-2} \\ y_t - 2y_{t-1} + y_{t-2} \\ &\vdots \\ \nabla^k y_t &= (1 - B)(1 - B) \dots (1 - B)y_t \\ \nabla^k y_t &= (1 - B)^k y_t \end{aligned} \quad (3)$$

Proceso estocástico estacionario

Un proceso estocástico estacionario, tiene la característica de ser una serie de tiempo constante a lo largo del tiempo, es decir, conforme transcurre el tiempo la media y la varianza tienden a ser estables. Mientras que para una serie no estacionaria sucede lo contrario.

Sea $\{y_t\}$ una serie de tiempo $t \in Z$ y $E(y_t) < \infty$ entonces se tienen distintos tipos de estacionariedad:

- i) Estacionariedad débil. El proceso es continuo o estable en media, varianza y autocovarianza, satisfaciendo las propiedades siguientes.

$$\mu(y_t) = E(y): \text{constante.}$$

$$\sigma_t^2 = \sigma_y^2: \text{constante.}$$

$$\gamma_y(r, s) = \text{cov}(y_r, y_s) = E(y_r - \mu_y(r))(y_s - \mu_y(s)), \quad r \wedge s.$$

Donde $\gamma_y(\cdot)$ se denomina la función de autocovarianza y $\gamma_h(\cdot)$ considera el valor en el rezago h . Por lo que, la autocovarianza para que sea estable debe cumplir las propiedades siguientes.

$$\gamma_0 = \sigma_y^2, \gamma_h = \gamma_{-h}, \rho_h = \frac{\gamma_h}{\gamma_0}$$

ρ_h , representa la correlación, la cual muestra si hay independencia en los datos de la serie de tiempo, de aquí se desprende la función de autocorrelación simple (ACF) y la función de autocorrelación parcial (PACF).

La función de autocorrelación, en términos de varianzas y covarianzas puede ser expresada matemáticamente como sigue.

$$\rho_k = \frac{\text{Cov}(y_t, y_{t-k})}{\sqrt{\text{Var}(y_t)\text{Var}(y_{t-k})}} \quad (4)$$

Estando conformada por la ACF y PACF. La ACF representa el retardo de los coeficientes de autocorrelación, esta función se caracteriza porque ρ_k decrece rápidamente lo que indica que la serie de tiempo puede ser estacionaria. Mientras que la PACF ayuda a identificar la magnitud de desfase en un modelo autorregresivo (AR), ayudando a reconocer los rezagos adecuados de orden p y poder modelar un AR. Además de medir la relación entre y_t y y_{t-k} cuando se elimina el efecto de $y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-k+1}$ por lo que el número de coeficientes distintos de cero, indica el orden del proceso autorregresivo.

- ii) Estacionariedad en sentido estricto. El proceso tiene distribuciones idénticas y el conjunto de variables depende solo de los rezagos.

$$(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n) \stackrel{\text{id}}{=} (y_{1+h}, y_{2+h}, y_{3+h}, \dots, y_{n+h})$$

Raíz unitaria

La prueba de raíz unitaria identifica si en una serie de tiempo los errores se distribuyen de forma gaussiana y constante. Siendo la hipótesis nula H_0 : existe una raíz unitaria y la alternativa H_a : no existe una raíz unitaria, por lo que esta última rechaza completamente la primera. Para rechazar la presencia de raíz unitaria y validar una serie estacionaria, se necesita tener un valor de probabilidad (p-value) menor o igual a 0.05, indicando que con un nivel del 95% de confianza la media de los errores, es decir en promedio, se distribuyen de una manera constante y por ende la serie es estacionaria.

Ruido blanco

El ruido blanco es un componente aleatorio de la serie y_t donde se incluyen los componentes aleatorios de tendencia y estacionalidad. El ruido blanco es un proceso estocástico estacionario que debe de cumplir con las siguientes propiedades.

$$E(u_t) = 0, \text{Var}(u_t) = \sigma^2, \text{Cov}(u_t, u_{t+h}) = 0, \forall t.$$

Por lo que la función de autocorrelación para el ruido blanco queda expresada de la forma siguiente.

$$\rho_k = \begin{cases} 1, & \text{para } k = 0 \\ 0, & \text{para } k \neq 0 \end{cases}$$

Modelo ARIMA

Por lo general al momento de pronosticar series de tiempo financieras, en pocas ocasiones se tienen series que cumplan las características deseadas, principalmente la estacionariedad.

En el proceso Autorregresivo Integrado de Media Móvil (ARIMA), de orden (p, d, q) , se encuentran la combinación de los modelos autorregresivos de orden p expresados como $\text{AR}(p)$ y de medias móviles de orden q , abreviados como $\text{MA}(q)$. El modelo ARIMA al ser un proceso integrado en diferencias se le agrega el parámetro d el cual es su orden de integración.

El operador diferencia, tiene como objetivo hacer una serie y_t no estacionaria, a una nueva serie Z_t estacionaria; es decir, matemáticamente se expresa el proceso de la forma siguiente:

$$\begin{aligned} \Delta y_t &= y_t - y_{t-1} \text{ de primer orden} \\ \Delta^2 y_t &= \Delta y_t - \Delta y_{t-1} \text{ de segundo orden} \\ &\vdots \\ \Delta^d y_t &= Z_t \text{ de orden } d \end{aligned}$$

Retomando la ecuación $\Delta^d y_t = Z_t$ que ya representa una serie estacionaria, entonces se expresa Z_t como un $\text{ARIMA}(p, d, q)$.

$$z_t = \Phi_1 z_{t-1} + \Phi_2 z_{t-2} + \dots + \Phi_p z_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (5)$$

$$\Phi_p(B)Z_t = \theta_q(B)\varepsilon_t \quad (6)$$

$$\Phi_p(B) = 1 - \Phi_1 B - \Phi_2 B^2 - \Phi_3 B^3 - \dots - \Phi_p B^p \quad (7)$$

$$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \theta_3 B^3 - \dots - \theta_q B^q \quad (8)$$

El modelo $\text{AR}(p)$ se representa por (7) y (8) corresponde a un $\text{MA}(q)$.

Para ser un modelo estacionario las raíces deben cumplir con la propiedad.

$$\Phi_p(B)\theta_q(B) = 0 \quad (9)$$

Modelo SARIMA

La estacionariedad en la media de las fluctuaciones periódicas con datos de serie de tiempo es capturada por el modelo $\text{SARIMA}(p, d, q)(P, D, Q, s)$, expresado matemáticamente de la manera siguiente.

$$\begin{aligned} \Phi_p(B^s)\varphi_p(B)\nabla^d \nabla_s^D Z_t &= c + \theta_q(B^s)\theta_q(B)\varepsilon_t \\ \nabla_s^D &= (1 - B^s)^D \\ \Phi_p(B^s) &= 1 - \sum_{i=1}^P \Phi_i B^{s,i} \\ \theta_q(B^s) &= 1 - \sum_{i=1}^Q \theta_i B^{s,i} \end{aligned} \quad (10)$$

Donde $\Phi_p(\cdot)$ es un polinomio de orden P y $\theta_Q(\cdot)$ también es un polinomio, pero de orden Q , con ∇_s^D como operador de la diferencia estacional, mientras que los parámetros P , D y Q son para la parte estacional, semejantes a los parámetros (p, d, q) no estacionales.

Modelo SARIMAX

El modelo SARIMAX es multivariado y se conforma por un modelo SARIMA agregando un parámetro exógeno. El modelo SARIMAX(p, d, q)(P, D, Q, s) se expresa matemáticamente de la manera siguiente:

$$\Phi_p(B^s)\varphi_p(B)\nabla^d\nabla_s^D Z_t = c + \beta_k x_{k,t} + \theta_Q(B^s)\theta_q(B)\varepsilon_t \quad (11)$$

donde β_k es el coeficiente del k -ésimo valor de la variable exógena, $x_{k,t}$ es el vector que contiene la k -ésima variable exógena en el tiempo t .

Modelo Black y Scholes para la valuación de opciones financieras call y put sobre un índice de mercado

La fórmula para valuar una opción financiera *call* sobre un índice de mercado es la siguiente.

$$c = S_0 N(d_1) - X e^{-iT} N(d_2) \quad (12)$$

Donde d_1 y d_2 se definen como sigue.

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(i + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}}, d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (13)$$

Por lo que, la ganancia de una *call* está determinada por la expresión matemática siguiente.

$$G_C = \text{Max}\{S_T - X, 0\} - c \quad (14)$$

Para el caso de una opción financiera *put* sobre un índice de mercado, la expresión matemática es.

$$p = X e^{-iT} N(-d_2) - S_0 N(-d_1) \quad (15)$$

Donde $N(-d_1) = 1 - N(d_1)$ y $N(-d_2) = 1 - N(d_2)$ respectivamente. Entonces, la ganancia de una *put* está determinada por la expresión matemática siguiente.

$$G_p = \text{Max}\{X - S_T, 0\} - p \quad (16)$$

Donde:

c : Prima de la opción financiera *call*.

p : Prima de la opción financiera *put*.

X : Precio de ejercicio de la opción financiera *call*.

S_0 : Valor del índice de mercado al inicio del contrato.

T : Tiempo de vencimiento del contrato de la opción financiera de compra *call* en meses.

S_T : Valor del índice de mercado al final del contrato.

i : Tasa de interés nacional “libre de riesgo” mensual.

$N(d_j)$: Probabilidad acumulada de la distribución normal estándar en el valor d_j .

σ : Volatilidad mensual del rendimiento del índice de mercado.

G_C : Ganancia de la opción financiera *call* al final de la vigencia del contrato.

G_p : Ganancia de la opción financiera *put* al final de la vigencia del contrato.

Las estrategias implementadas en esta investigación se componen como sigue:

cono corto. Combinación de las opciones financieras *call* (c_{X_2}) y *put* (p_{X_2}) ambas en posición corta y con el mismo precio de ejercicio (X_2), donde la ganancia de la estrategia (G_{Ecc}) está dada por:

$$G_{Ecc} = -\text{Max}\{S_T - X_2, 0\} - \text{Max}\{X_2 - S_T, 0\} + c_{X_2} + p_{X_2} \quad (17)$$

cuna corta. Combinación de las opciones financieras *call* (c_{X_3}) y *put* (p_{X_1}) ambas en posición corta, pero con distintos precios de ejercicio (X_1 y X_3), con $X_3 > X_1$ por lo que la ganancia de la estrategia (G_{Ecunc}) es:

$$G_{Ecunc} = -\text{Max}\{S_T - X_3, 0\} - \text{Max}\{X_1 - S_T, 0\} + c_{X_3} + p_{X_1} \quad (18)$$

mariposa.- Combinación de dos opciones financieras *call* (c_{X_2} posición corta y c_{X_3} posición larga) y dos opciones financieras *put* (p_{X_1} posición larga y p_{X_2} posición corta) considerando precios de ejercicio ($X_1, X_2, y X_3$), tal que $X_1 < X_2 < X_3$ por lo que la ganancia de la estrategia (G_m) se determina por:

$$G_m = \text{Max}\{X_1 - S_T, 0\} - \text{Max}\{S_T - X_2, 0\} - \text{Max}\{X_2 - S_T, 0\} + \text{Max}\{S_T - X_3, 0\} - p_{X_1} + c_{X_2} + p_{X_2} - c_{X_3} \quad (19)$$

paracaídas. Combinación de dos opciones financieras *call* (c_{X_2} y c_{X_3}) en posición corta y dos opciones financieras *put* (p_{X_1} y p_{X_2}) en la misma posición considerando precios de ejercicio ($X_1, X_2, y X_3$), tal que $X_1 < X_2 < X_3$ por lo que la ganancia de la estrategia (G_{par}) se determina por:

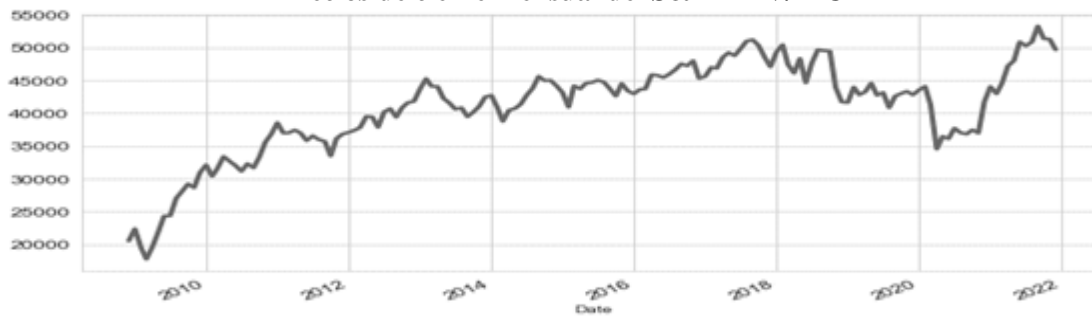
$$G_{par} = -\text{Max}\{X_1 - S_T, 0\} - \text{Max}\{S_T - X_2, 0\} - \text{Max}\{X_2 - S_T, 0\} - \text{Max}\{S_T - X_3, 0\} + p_{X_1} + c_{X_2} + p_{X_2} + c_{X_3} \quad (20)$$

III. RESULTADOS APLICADOS AL S&P BMV/IPC

En este trabajo se realizaron estrategias de volatilidad tradicionales (cono corto, cuna corta y mariposa) y la estrategia “paracaídas” propuesta, como protección ante las altas fluctuaciones esperadas en el S&P BMV/IPC tras la llegada de la variante ómicron a México, como factores de influencia para las opciones financieras se tiene TIE 28 días, con base a la información publicada por Banxico, la volatilidad es histórica considerando el periodo del 30/11/2008 al 30/11/2021, considerando periodicidad mensual, la valuación de cada opción financiera del tipo europeo se realiza intertemporalmente con fecha de vencimiento al cierre de cada mes, hasta por cuatro meses, dado que la evidencia empírica ha mostrado que los pronósticos con modelos de la familia ARIMA son de corto plazo. A continuación, se muestra el análisis econométrico realizado en Python del índice del mercado mexicano S&P BMV/IPC, así como los resultados pronosticados con el modelo SARIMAX en los precios de cierre aplicados en las estrategias tradicionales y en la propuesta.

La gráfica 1 ilustra la serie de tiempo a niveles, es decir la serie original del S&P BMV/IPC en el periodo analizado.

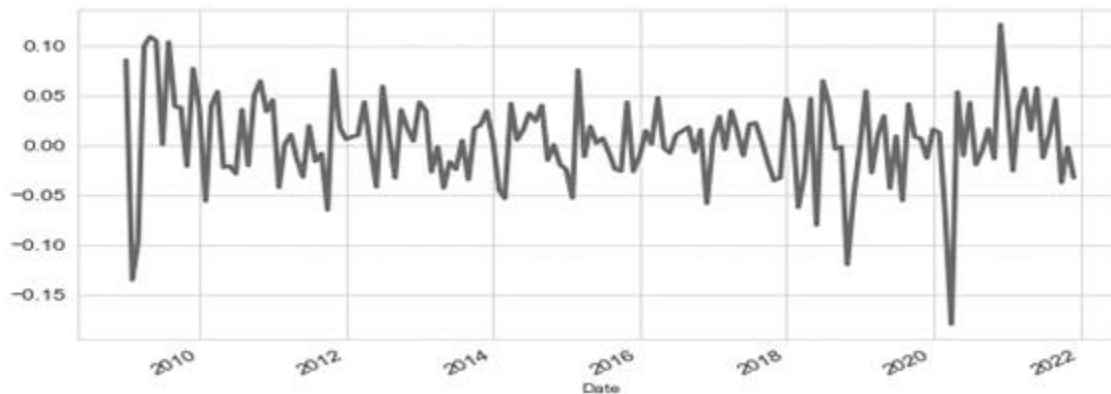
Gráfica 1
Precios de cierre mensual del S&P BMV/IPC



Fuente: Elaboración propia mediante Investing (2021), implementado en Python.

La imagen 1, muestra el comportamiento histórico mensual de los precios de cierre del S&P BMV/IPC, donde se observa una tendencia positiva y se resalta la caída significativa desde la llegada de la pandemia hasta marzo de 2020. Posteriormente se observa el comportamiento de los rendimientos logarítmicos en diferencia en el principal índice del mercado mexicano, como se muestra en la gráfica 2.

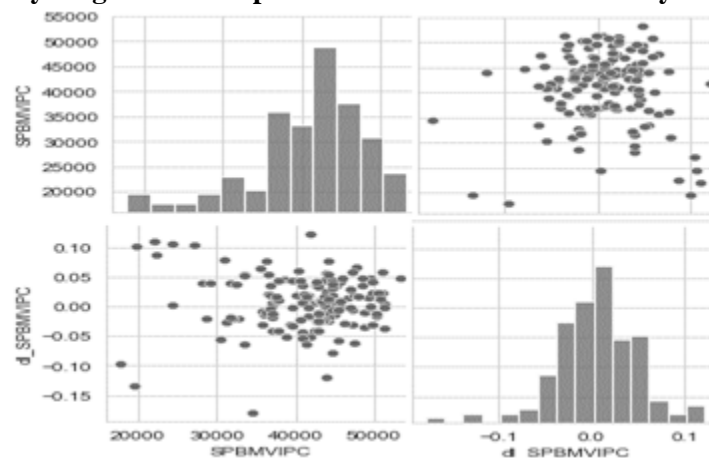
Gráfica 2
Rendimiento mensual del S&P BMV/IPC



Fuente: Elaboración propia mediante Investing (2021), implementado en Python.

Después se procede a realizar un análisis estadístico básico de ambas series de tiempo a niveles y en diferencias, como se observa en la gráfica 3.

Gráfica 3
Histograma y diagrama de dispersión entre las series a niveles y en diferencias

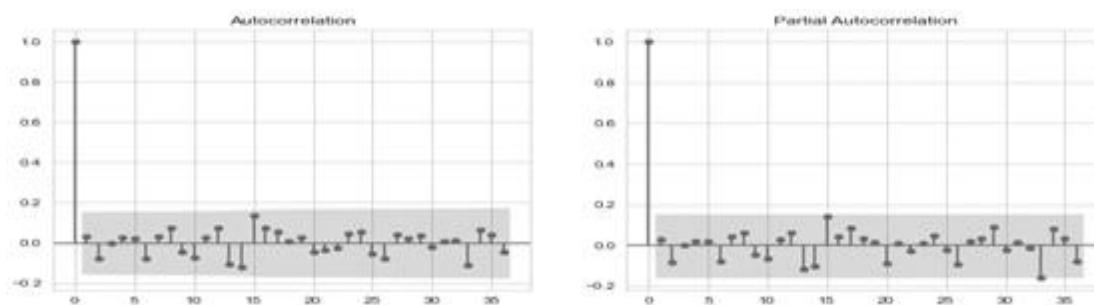


Fuente: Elaboración propia mediante Investing (2021), implementado en Python.

En la gráfica 3, se observa que no existe un comportamiento gaussiano en las series de tiempo a niveles y en diferencias, resaltando la leptocurtosis en los rendimientos del S&P BMV/IPC, y los datos se aprecian dispersos.

Luego se analiza la serie en diferencias mediante la prueba Dickey-Fuller, la cual tiene un p-value de 1.8811×10^{-22} , lo cual es casi cero, por lo que se tiene la certeza de que la serie de tiempo de los rendimientos del S&P BMV/IPC es estacionaria. Y se puede proceder al análisis de autocorrelación ACF y PACF mediante el correlograma, como se ilustra en la gráfica 4.

Gráfica 4
Correlogramas de Autocorrelación y Autocorrelación Parcial para la serie de tiempo en diferencias



Fuente: Elaboración propia mediante Investing (2021), implementado en python.

En la gráfica 4, se observa que tanto la ACF como la PACF tienen un comportamiento senoidal, es decir, las raíces del polinomio son complejas, por lo que una buena propuesta de modelo corresponde a los de la familia ARIMA, para la realización posterior del pronóstico. Para poder pronosticar con el mejor modelo de dicha familia, se usa la herramienta computacional de Python a través de la función `autoarima`, la cual encuentra el mejor modelo de dicha familia para poder realizar el pronóstico. Los resultados encontrados se observan en el cuadro 1.

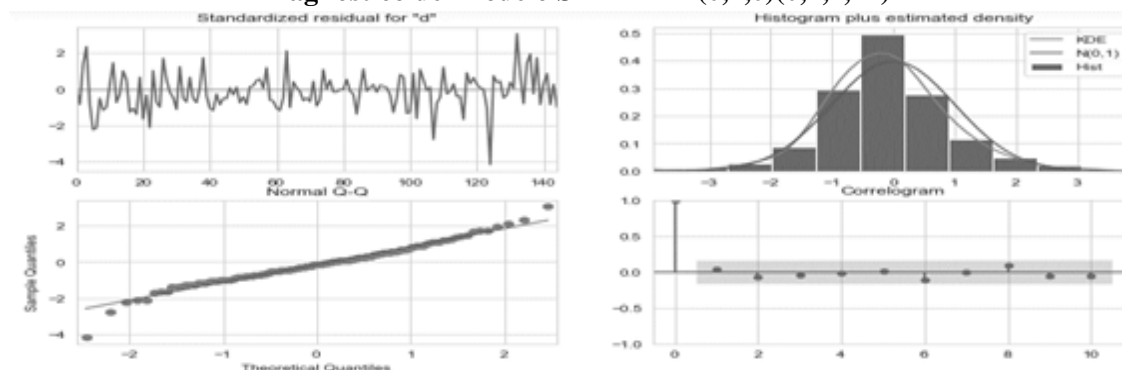
Cuadro 1
Resultados del modelo SARIMAX

Variable dependiente	y	Número de observaciones	157			
Modelo	SARIMAX(0,1,0)x(0,1,[1],12)	Log verosimilitud	231.76			
Fecha	12/25/2021	AIC	-459.53			
Hora	16:04:02	BIC	-453.59			
Muestra	0	HQIC	-457.11			
	-157					
Tipo de covarianza	0pg					
	coeficiente	error estándar	z	P>[z]	[0.025	0.975]
ma.S.L12	-0.7521	0.065	-11.65	0	-0.87	-0.62
sigma cuadrada	0.0022	0	11.73	0	0	0
Ljung-Box(1,1)(Q)	0.26	Jarque-Bera (JB)	20.46			
Probabilidad(Q)	0.61	Probabilidad(JB)	0			
Heterocedasticidad(H)	1.2	Sesgo	-0.13			
Probabilidad(H) (dos colas)	0.52	Curtosis	4.83			

Fuente: Elaboración propia mediante Investing (2021), implementado en python.

En el cuadro 1, se muestran los resultados obtenidos por la función autoarima de python, el modelo de la familia ARIMA encontrado por máxima verosimilitud es un SARIMAX(0,1,0)(0,1,1,12), es decir, indica que los rendimientos logarítmicos del S&P BMV/IPC solo requirieron de una diferenciación para ser estacionarios, y en cuanto a los parámetros estacionales del modelo se tiene que el orden de integración como de medias móviles es el mismo e igual a uno, y el parámetro de la variable exógena está dado por un MA(12). Tanto el coeficiente positivo de la varianza de los errores, como el negativo de la variable exógena son estadísticamente significativos, dado que tienen un p-value de cero, sin embargo, al ser el p-value también de cero en la prueba Jarque Bera no se tiene normalidad, además de que se observa una distribución sesgada y con leptocurtosis. Se observa homocedasticidad en el modelo al tener un p-value mayor a 0.05 en la prueba de heterocedasticidad. Finalmente, analizando la prueba Ljung-Box se observa que al ser el p-value mayor a 0.05 el modelo propuesto no tiene problemas de correlación serial. En la gráfica 5 se puede apreciar el diagnóstico del modelo.

Gráfica 5
Diagnóstico del modelo SARIMAX(0,1,0)(0,1,1,12)



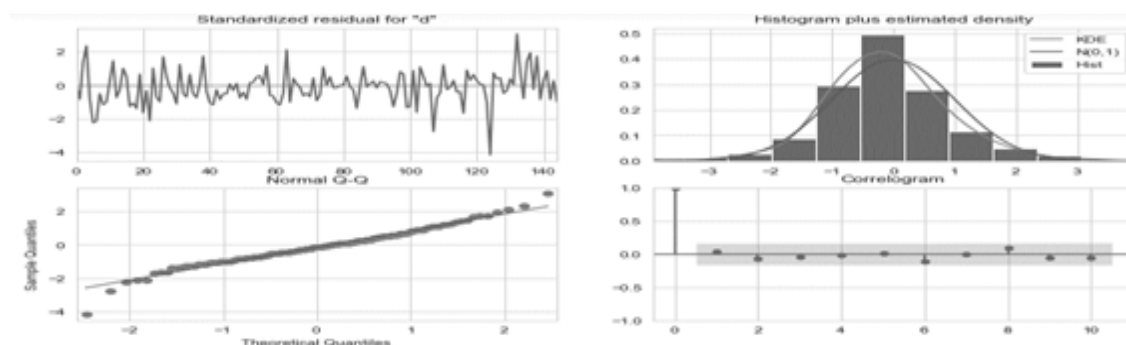
Fuente: Elaboración propia mediante Investing (2021), implementado en python.

En la gráfica 5, se observa que los rendimientos del S&P BMV/IPC presentaron su caída más drástica durante la pandemia COVID-19, donde se reflejó la mayor pérdida en el mes de marzo de 2020, lo cual es un antecedente de que con la llegada a México de la nueva variante ómicron, se espera un fuerte impacto debido a que la tasa de contagio es elevada, y por ende se tienen expectativas de caídas en los precios del índice mexicano S&P BMV/IPC en el corto plazo, también se observa que el modelo captura de mejor forma la leptocurtosis de los datos que una distribución gaussiana, aunque se observan problemas en ambas colas de la distribución, Finalmente, es importante decir que en el correlograma se observa que todos los residuos se encuentran dentro del intervalo de confianza.

Posteriormente se agregan los valores pronosticados hasta cuatro meses después a la serie original, como se observa en la gráfica 6.

Gráfica 6

Serie de tiempo de los precios de cierre del S&P BMV/IPC incorporando los pronósticos del modelo SARIMAX(0,1,0)(0,1,1,12) para los cuatro meses posteriores



Fuente: Elaboración propia en Excel con datos de Investing (2021).

La gráfica 6 incorpora los valores pronosticados por el modelo SARIMAX, cabe decir que el error cuadrático medio fuera de la muestra es de 0.0021, lo anterior muestra una tendencia a la baja para los precios de cierre del S&P BMV/IPC. Estos valores pronosticados se pueden visualizar en el cuadro 2.

Cuadro 2

Pronósticos del modelo SARIMAX(0,1,0)(0,1,1,12) de cuatro meses para los precios de cierre del S&P BMV/IPC.

Mes	Precio de cierre del S&P BMV/IPC
31/12/2021	50 906.7598
31/01/2022	51 073.3952
28/02/2022	50 409.1003
31/03/2022	49 887.5125

Fuente: Elaboración propia mediante Investing (2021), implementado en python.

El cuadro 2, muestra los valores pronosticados de los precios de cierre del S&P BMV/IPC en puntos base mediante el modelo econométrico SARIMAX propuesto, el cual consideró una muestra mensual de los últimos trece años, que contiene dos crisis financieras; con último precio de cierre del S&P BMV/IPC de 49 698.7200 puntos base correspondiente al día 30/11/2021. En los valores pronosticados se observa que se

espera en el comportamiento futuro del índice analizado, aumentos para el 31/12/2021 y 31/01/2022, pero caídas para el 28/02/2022 y 31/03/2022, justo donde se observa el valor más bajo de los valores pronosticados.

Una vez que se tienen los valores pronosticados se procede a realizar el análisis financiero, analizando el comportamiento de las opciones financieras sobre el índice siguiendo el modelo de Black y Scholes (1973), tal como lo realizaron en su estudio Ángeles y Venegas (2010). Los resultados obtenidos consideran los factores de influencia en el precio de las opciones financieras que se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3
Factores de influencia en el precio de cierre del S&P BMV/IPC con vencimiento del contrato en las fechas pronosticadas

Factor de influencia	31/12/2021	31/01/2022	28/02/2022	31/03/2022
σ	4.4070%	4.4070%	4.4070%	4.4070%
i	0.4356%	0.4356%	0.4356%	0.4356%
S_0	49 698.7200	49 698.7200	49 698.7200	49 698.7200
S_T	50 906.7598	51 073.3952	50 409.1003	49 887.5125
X_1	49 650	49 650	49 650	49 650
c_{X_1}	1 010.7712	1 484.8661	1 875.3511	2 222.6497
p_{X_1}	744.9538	1 004.1695	1 180.7091	1 314.9925
X_2	49 700	49 700	49 700	49 700
c_{X_2}	984.1300	1 457.7807	1 847.9355	2 194.9715
p_{X_2}	768.0952	1 026.6503	1 202.6444	1 336.4506
X_3	49 750	49 750	49 750	49 750
c_{X_3}	957.9407	1 431.0125	1 820.7772	2 167.5144
p_{X_3}	791.6887	1 049.4484	1 224.8369	1 358.1298

Fuente: Elaboración propia en Excel.

Para los precios de ejercicio mostrados en el cuadro 3. Se observa que se encuentran en múltiplos de 50 puntos base como lo establece MexDer (2021).

Una vez que se tienen los cálculos de las primas de las opciones financieras *call* y *put*. Se procede a construir las estrategias tradicionales y la propuesta, como se muestra a continuación.

Cuadro 4
Pérdidas o ganancias de las estrategias con opciones financieras con fecha de vencimiento 31/12/2021.

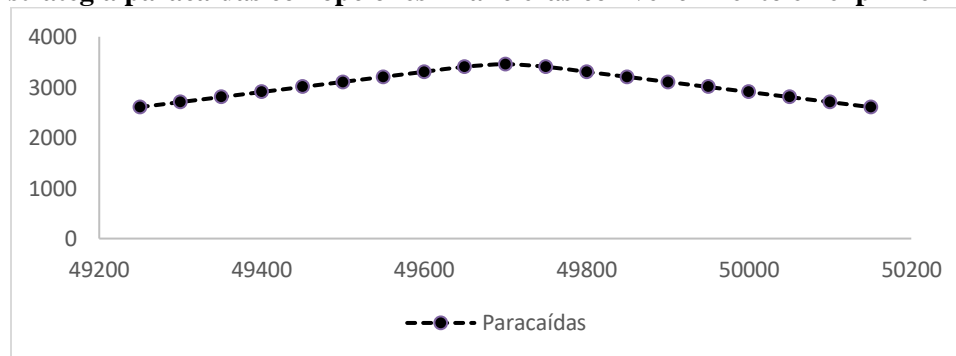
Precio de cierre S&P BMV/IPC	Cono corto	Cuna corta	Mariposa	Paracaídas
49 250	1 302.2253	1 302.8946	-0.6693	2 605.1199
49 300	1 352.2253	1 352.8946	-0.6693	2 705.1199
49 350	1 402.2253	1 402.8946	-0.6693	2 805.1199
49 400	1 452.2253	1 452.8946	-0.6693	2 905.1199

49 450	1 502.2253	1 502.8946	-0.6693	3 005.1199
49 500	1 552.2253	1 552.8946	-0.6693	3 105.1199
49 550	1 602.2253	1 602.8946	-0.6693	3 205.1199
49 600	1 652.2253	1 652.8946	-0.6693	3 305.1199
49 650	1 702.2253	1 702.8946	-0.6693	3 405.1199
49 700	1 752.2253	1 702.8946	49.3307	3 455.1199
49 750	1 702.2253	1 702.8946	-0.6693	3 405.1199
49 800	1 652.2253	1 652.8946	-0.6693	3 305.1199
49 850	1 602.2253	1 602.8946	-0.6693	3 205.1199
49 900	1 552.2253	1 552.8946	-0.6693	3 105.1199
49 950	1 502.2253	1 502.8946	-0.6693	3 005.1199
50 000	1 452.2253	1 452.8946	-0.6693	2 905.1199
50 050	1 402.2253	1 402.8946	-0.6693	2 805.1199
50 100	1 352.2253	1 352.8946	-0.6693	2 705.1199
50 150	1 302.2253	1 302.8946	-0.6693	2 605.1199
50 906.7598	545.4654	546.1348	-0.6693	1 091.6002

Fuente: Elaboración propia en Excel.

En el cuadro 4, se muestran las ganancias o pérdidas esperadas por estrategia de opciones financieras, donde se resalta la pérdida de 0.6693 mediante la estrategia mariposa, mientras que en la estrategia paracaídas se observa ganancia de 1 091.6002, pues se tiene un valor pronosticado de 50 906.7598 puntos base para el S&P BMV/IPC, lo que representaría un aumento en el índice respecto al mes anterior. La expresión gráfica de la mejor estrategia se puede apreciar en la gráfica 7.

Gráfica 7
Estrategia paracaídas con opciones financieras con vencimiento en el primer mes



Fuente: Elaboración propia en Excel con datos de Investing (2021).

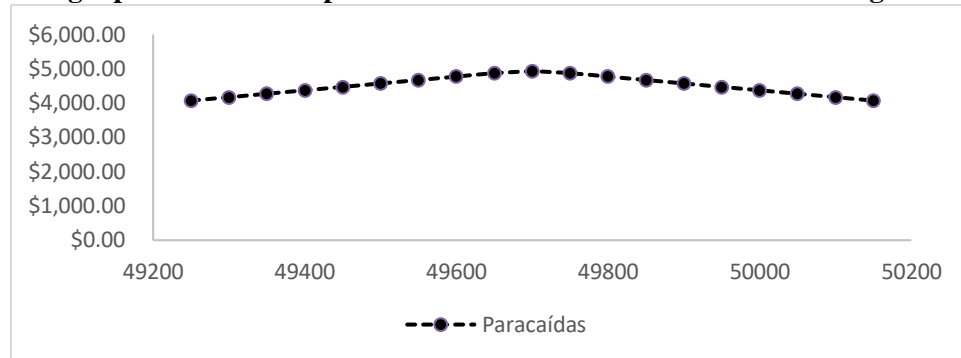
Cuadro 5
Pérdidas o ganancias de las estrategias con opciones financieras con fecha de vencimiento
31/01/2022.

Precio de cierres S&P BMV/IPC	Cono corto	Cuna corta	Mariposa	Paracaídas
49 250	2 034.4310	2 035.1820	-0.7510	4 069.6100
49 300	2 084.4310	2 085.1820	-0.7510	4 169.6100
49 350	2 134.4310	2 135.1820	-0.7510	4 269.6100
49 400	2 184.4310	2 185.1820	-0.7510	4 369.6100
49 450	2 234.4310	2 235.1820	-0.7510	4 469.6100
49 500	2 284.4310	2 285.1820	-0.7510	4 569.6100
49 550	2 334.4310	2 335.1820	-0.7510	4 669.6100
49 600	2 384.4310	2 385.1820	-0.7510	4 769.6100
49 650	2 434.4310	2 435.1820	-0.7510	4 869.6100
49 700	2 484.4310	2 435.1820	49.2489	4 919.6100
49 750	2 434.4310	2 435.1820	-0.7510	4 869.6100
49 800	2 384.4310	2 385.1820	-0.7510	4 769.6100
49 850	2 334.4310	2 335.1820	-0.7510	4 669.6100
49 900	2 284.4310	2 285.1820	-0.7510	4 569.6100
49 950	2 234.4310	2 235.1820	-0.7510	4 469.6100
50 000	2 184.4310	2 185.1820	-0.7510	4 369.6100
50 050	2 134.4310	2 135.1820	-0.7510	4 269.6100
50 100	2 084.4310	2 085.1820	-0.7510	4 169.6100
50 150	2 034.4310	2 035.1820	-0.7510	4 069.6100
51 073.3953	1 111.0357	1 111.7868	-0.7510	2 222.8200

Fuente: Elaboración propia en Excel.

En el cuadro 5, se muestran las ganancias o pérdidas esperadas por estrategia de opciones financieras, donde se resalta la pérdida de 0.7510 mediante la estrategia mariposa, mientras que la estrategia paracaídas se observa ganancia de 2 222.8200, pues se tiene un valor pronosticado de 51 073.3953 puntos base para el S&P BMV/IPC, lo que representaría un aumento en el índice respecto al mes anterior. La expresión gráfica de la mejor estrategia se puede apreciar en la gráfica 8.

Gráfica 8
Estrategia paracaídas con opciones financieras con vencimiento en el segundo mes



Fuente: Elaboración propia en Excel con datos de Investing (2021).

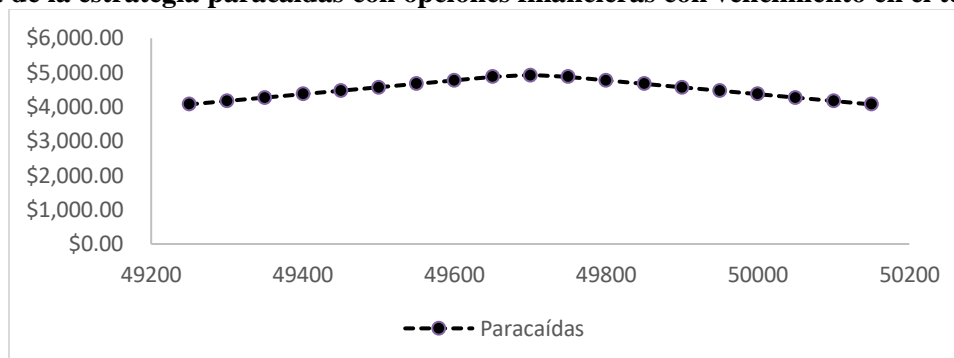
Cuadro 6
Pérdidas o ganancias de las estrategias con opciones financieras con fecha de vencimiento 28/02/2022.

Precio de cierre S&P BMV/IPC	Cono corto	Cuna corta	Mariposa	Paracaídas
49 250	2 600.5801	2 601.4864	-0.9064	5 202.0664
49 300	2 650.5801	2 651.4864	-0.9064	5 302.0664
49 350	2 700.5801	2 701.4864	-0.9064	5 402.0664
49 400	2 750.5801	2 751.4864	-0.9064	5 502.0664
49 450	2 800.5801	2 801.4864	-0.9064	5 602.0664
49 500	2 850.5801	2 851.4864	-0.9064	5 702.0664
49 550	2 900.5801	2 901.4864	-0.9064	5 802.0664
49 600	2 950.5801	2 951.4864	-0.9064	5 902.0664
49 650	3 000.5801	3 001.4864	-0.9064	6 002.0664
49 700	3 050.5801	3 001.4864	49.0936	6 052.0664
49 750	3 000.5801	3 001.4864	-0.9064	6 002.0664
49 800	2 950.5801	2 951.4864	-0.9064	5 902.0664
49 850	2 900.5801	2 901.4864	-0.9064	5 802.0664
49 900	2 850.5801	2 851.4864	-0.9064	5 702.0664
49 950	2 800.5801	2 801.4864	-0.9064	5 602.0664
50 000	2 750.5801	2 751.4864	-0.9064	5 502.0664
50 050	2 700.5801	2 701.4864	-0.9064	5 402.0664
50 100	2 650.5801	2 651.4864	-0.9064	5 302.0664
50 150	2 600.5801	2 601.4864	-0.9064	5 202.0664
50 409.1003	2 341.4797	2 342.3861	-0.9064	4 683.8658

Fuente: Elaboración propia en Excel.

En el cuadro 6, se muestran las ganancias o pérdidas esperadas por estrategia de opciones financieras, donde se resalta la pérdida de 0.9064 mediante la estrategia mariposa, mientras que la estrategia paracaídas se observa ganancia de 4 683.8658, pues se tiene un valor pronosticado de 50 409.1003 puntos base para el S&P BMV/IPC, lo que representaría una caída en el índice respecto al mes anterior. La expresión gráfica de la mejor estrategia se puede apreciar en la gráfica 9.

Gráfica 9
Gráfica de la estrategia paracaídas con opciones financieras con vencimiento en el tercer mes



Fuente: Elaboración propia en Excel con datos de Investing (2021).

Cuadro 7
Pérdidas o ganancias de las estrategias con opciones financieras con fecha de vencimiento 31/03/2022

Precio de cierre S&P BMV/IPC	Cono corto	Cuna corta	Mariposa	Paracaídas
49 250	3 081.4221	3 082.5069	-1.0848	6 163.9291
49 300	3 131.4221	3 132.5069	-1.0848	6 263.9291
49 350	3 181.4221	3 182.5069	-1.0848	6 363.9291
49 400	3 231.4221	3 232.5069	-1.0848	6 463.9291
49 450	3 281.4221	3 282.5069	-1.0848	6 563.9291
49 500	3 331.4221	3 332.5069	-1.0848	6 663.9291
49 550	3 381.4221	3 382.5069	-1.0848	6 763.9291
49 600	3 431.4221	3 432.5069	-1.0848	6 863.9291
49 650	3 481.4221	3 482.5069	-1.0848	6 963.9291
49 700	3 531.4221	3 482.5069	48.9152	7 013.9291
49 750	3 481.4221	3 482.5069	-1.0848	6 963.9291
49 800	3 431.4221	3 432.5069	-1.0848	6 863.9291
49 850	3 381.4221	3 382.5069	-1.0848	6 763.9291
49 900	3 331.4221	3 332.5069	-1.0848	6 663.9291
49 950	3 281.4221	3 282.5069	-1.0848	6 563.9291
50 000	3 231.4221	3 232.5069	-1.0848	6 463.9291
50 050	3 181.4221	3 182.5069	-1.0848	6 363.9291
50 100	3 131.4221	3132.5070	-1.0848	6 263.9291

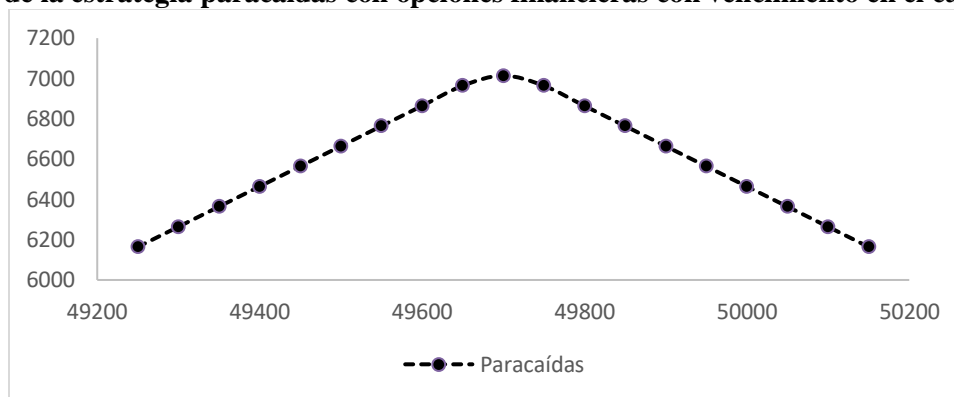
50 150	3 081.4221	3082.5070	-1.0848	6 163.9291
49 887.5125	3 343.9096	3 344.9944	-1.0848	6 688.9041

Fuente: Elaboración propia en Excel.

En el cuadro 7, se muestran las ganancias o pérdidas esperadas por estrategia de opciones financieras, donde se resalta la pérdida de 1.0848 mediante la estrategia mariposa, mientras que la estrategia paracaídas se observa ganancia de 6 688.9041, pues se tiene un valor pronosticado de 49 887.5125 puntos base para el S&P BMV/IPC, lo que representaría una caída en el índice respecto al mes anterior. La expresión gráfica de la mejor estrategia se puede apreciar en la gráfica 10.

Gráfica 10

Gráfica de la estrategia paracaídas con opciones financieras con vencimiento en el cuarto mes.



Fuente: Elaboración propia en Excel con datos de Investing (2021).

Dado que los contratos de opciones financieras sobre el índice S&P BMV/IPC se encuentran en puntos base, para convertirlos a pesos mexicanos MXN, se multiplican por 10, por lo que los resultados obtenidos de esta investigación en valor monetario se resumen en el cuadro 8.

Cuadro 8

Resumen de los resultados mediante estrategias con opciones financieras sobre el S&P BMV/IPC en pesos mexicanos

Fecha	Valor del Índice mexicano pronosticado	Pérdida o ganancia con la estrategia cono corto	Pérdida o ganancia con la estrategia cuna corta	Pérdida o ganancia con la estrategia mariposa	Pérdida o ganancia con la estrategia paracaídas
12/31/2021	50 906.7598	\$5 454.6545	\$5 461.3480	-\$6.6934	\$10 916.0026
01/31/2022	51 073.3952	\$11 110.3577	\$11 117.8680	-\$7.5102	\$22 228.2257
02/28/2022	50 409.1003	\$23 414.7973	\$23 423.8610	-\$9.0637	\$46 838.6582
03/31/2022	49 887.5125	\$33 439.0967	\$33 449.9448	-\$10.8481	\$66 889.0415

Fuente: Elaboración propia en Excel.

En el cuadro 8, se observa que, para todos los valores pronosticados, las estrategias tradicionales resultan ser menores en ganancias respecto a la estrategia paracaídas propuesta, inclusive la estrategia tradicional mariposa siempre refleja pérdidas con los datos analizados.

IV. DISCUSIÓN

Es importante decir que la investigación de Pincheira y García (2012) sirvió de motivación para la realización de este trabajo, quienes obtienen resultados satisfactorios en los pronósticos inflacionarios mensuales hasta por cuatro meses en Chile.

Además de vislumbrar a través del pronóstico los posibles valores futuros para el índice estudiado, es importante generar nuevas estrategias que sirvan de protección para hacer frente a la pandemia COVID-19, particularmente por la llegada de la variante ómicron a México, es por ello que se han comparado estrategias tradicionales, con una propuesta denominada “paracaídas”, empíricamente se ha comprobado que la estrategia propuesta mejora a las tradicionales tanto en la prevención de pérdidas potenciales que se pudieran llegar a tener como en las ganancias obtenidas, siendo consistente con la investigación de Abunofal *et al.*, (2021) quienes pronostican los precios futuros de electricidad para evitar pérdidas económicas al tiempo que maximizan ganancias en Alemania, por lo cual la estrategia propuesta brinda una mayor protección, respecto a los otros tipos de estrategias, de hecho la que peores resultados reflejó fue la estrategia mariposa, registrando siempre pérdidas, por lo cual se puede decir que esa estrategia tradicional no es adecuada en tiempos de pandemia. Mostrando empíricamente que tanto el objetivo de esta investigación como la hipótesis se han cumplido satisfactoriamente. Además de ser consistente con otras investigaciones que han usado a los instrumentos financieros derivados para fines de protección como lo muestra Olivares (2013), Olivares *et al.* (2016), y Olivares y Medina (2021).

CONCLUSIÓN

Es relevante resaltar que la estrategia paracaídas propuesta en esta investigación al ser simétrica y gráficamente suavizada brinda la posibilidad de ganancias al mismo tiempo de prevenir pérdidas ante cambios drásticos en el subyacente, siendo una alternativa viable en tiempos de pandemia, es decir al usar la estrategia paracaídas se suavizan los impactos derivados del COVID-19, particularmente por la variante ómicron por su alto índice de propagación de contagio.

Por lo anterior fue importante estimar el comportamiento futuro del mercado mexicano a través de su principal índice S&P BMV/IPC.

En el presente trabajo se han realizado pronósticos en el corto plazo para el valor de los precios de cierre del S&P BMV/IPC en los meses de diciembre 2021, enero de 2022, febrero de 2022 y marzo de 2022. Los resultados muestran un alza para los primeros dos meses, mientras que para los últimos dos, se observan caídas. Lo cual para México da síntomas del comportamiento esperado de la cuarta ola de COVID-19, es decir, iniciando a finales del mes de diciembre, alcanzando su máximo a finales del mes de enero, después decayendo a finales del mes de febrero y finalmente terminando a finales del mes de marzo de 2022; dicha ola proveniente de la variante ómicron mostraría un fuerte impacto en los primeros meses y después una decaída acelerada de esta.

Es importante decir que existe una gran diversidad de factores que pueden producir variaciones significativas respecto a los valores pronosticados, por lo mismo, los pronósticos se han realizado de corto plazo. Para futuras investigaciones se pueden realizar pronósticos de volatilidad con modelos de la familia GARCH y considerar comisiones en el modelo, las cuales son una limitación del presente trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- Abunofal M., Poshia, N., Qussous, R., & Weidlich, A. (2021). Comparative analysis of electricity market prices based on different forecasting methods, *IEEE Madrid PowerTech, Conference Proceedings* 9495034
- Ángeles G. y Venegas F. (2010). Valuación de opciones sobre índices bursátiles y determinación de la estructura de plazos de la tasa de interés en un modelo de equilibrio general, *Investigación económica*, LXIX(271), 43-80.
- Banaś J. & Utnik K. (2021). Evaluating a seasonal autoregressive moving average model with an exogenous variable for short-term timber price forecasting, *Forest Policy and Economics*, 131(4), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102564>
- Basmadjian R., Shaafieyoun, A., Julka, S. (2021). Day-Ahead Forecasting of the Percentage of Renewables Based on Time-Series Statistical Methods, *Energies*, 14, 1-23. <https://doi.org/10.3390/en14217443>
- Black, F. & Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *The Journal of Political Economy*, 81(3), 637-654. <https://www.jstor.org/stable/1831029>
- Box, G., & Jenkins G. (1968). Some Recent Advances in Forecasting and Control. *Journal of the Royal Statistical Society*. 17(2), 91-109 <https://doi.org/10.2307/2985674>
- Brusokas, J., Pedersen, T.B., Siknis, L., Zhang, D., Chen, K. (2021). HeatFlex: Machine learning based data-driven flexibility prediction for individual heat pumps, e-Energy, *Proceedings of the 2021 12th ACM International Conference on Future Energy Systems*, 160-170.
- Capasso, T., Fornero, G., Fiandra, U., Raciti, I. M., Paudice, A., & Sorano, E. (2019). Priorities in patient safety: The role of clinical risk management. *The Future of Risk Management*, Volume I (197-217). Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14548-4_9
- Cox, J. (1975). Notes on Option Pricing I: Constant Elasticity of Variance Diffusions. *Working Paper*, Stanford University.
- Cheng, Q., Argon, N.T., Evans, C. S., Platss-Mills, T.F. & Ziya, S. (2021). Forecasting emergency department hourly occupancy using time series analysis, *American Journal of Emergency Medicine*, 48(1), 177-182. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2021.04.075>
- Christoffersen, P., Elkamhi, R., Feunou, B. & Jacobs K. (2010). Option Valuation with Conditional Heteroskedasticity and Non-Normality, *Review of Financial Studies*, 23(5), 2139-2183. <https://www.jstor.org/stable/40604840>
- Dutta, J., & Roy, S. (2021). IndoorSense: context based indoor pollutant prediction using SARIMAX model, *Multimedia Tools and Applications*, 80(13), 19989-20018. <https://doi.org/10.1007/s11042-021-10666-w>
- El-Khatib, Y., & Hatemi, J., A. (2020). The second order price sensitivities for markets in a crisis. *Journal of King Saud University-Science*. 32(1), 131-135. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.03.016>
- Font, B. (2004). Estrategias especulativas óptimas con opciones. *Revista Española De Financiación y Contabilidad*. 33(120), 161-203.
- Gao, R., Li, Y., Bai, Y., Hong, S. (2019). Bayesian Inference for Optimal Risk Hedging Strategy Using Put Options With Stock Liquidity, *IEEE Access*, Vol. 7, 146046-146056. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2946260>
- Hao, J., yZhang, J. (2013). GARCH Option Pricing Models, the CBOE VIX, and Variance Risk Premium. *Journal of Financial Econometrics*, 11(3), 556-580. <https://doi.org/10.1093/jjfinec/nbs026>
- Investing, (2021). S&P BMV/IPC Overview, Recuperado de: <https://www.investing.com/indices/ipc> [Consultado el 25 de diciembre de 2021]
- Jain, A., Sukhdeve, T., Gadia, H., Sahu, S.P., Verma, S. (2021). COVID19 Prediction using Time Series Analysis, *Proceedings International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems*, ICAIS 2021, 9395877, 1599-1606

- Kim, S., Kim, H., and Kim, J. (2020). ELS pricing and hedging in a fractional Brownian motion environment. *Chaos Solitons & Fractals*, Vol. 142, 110453. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110453>
- Kim, B., Suh, D., Otto, M. O., Huh, J. S. (2021). A Novel Hybrid Spatio-Temporal Forecasting of Multisite Solar Photovoltaic Generation, *Remote sensing*, 13(13), 1-20. <https://doi.org/10.3390/rs13132605>
- Manigandan, P., Alam, M.D.S., Alharthi, M., Pachiyappan, D., Rehman, A. (2021). Forecasting Natural Gas Production and Consumption in United States-Evidence from SARIMA and SARIMAX Models, *Energies*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/en14196021>
- MexDer, (2021). Contratos de opciones listados en MexDer. [En línea]. Disponible en: http://www.mexder.com.mx/wb3/wb/MEX/contratos_opcion. [Consultado el 25 de diciembre de 2021]
- Olivares, H. A. (2013). Análisis de escenarios monte carlo para decisiones de cobertura de riesgos mediante opciones europeas de compra. *Tesis de Maestría en Finanzas*. División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Contaduría y Administración. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Olivares, H. A., Ortiz, A. y López, F. (2016). Generación de estrategias de cobertura con opciones europeas y simulación Monte Carlo con modelos GARCH-M. Capítulo del libro de *Administración de riesgos*, Volumen VI, Grupo de investigación de Mercados e Instituciones Financieras, y la Red para el Análisis de Riesgos Financieros, UAM, vol. 1.
- Olivares, H. A., y Medina, A. (2021). Mejores estrategias de cobertura en acciones del MexDer durante el primer año de la COVID-19. *Análisis Económico*, XXXVI (92), 127-144. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2021v36n92/Olivares>
- Parisi F., y Guerrero C. (2003). Modelos predictivos de redes neuronales en índices bursátiles. *El Trimestre Económico*. 70(4), 721-744.
- Parisi, A., Parisi, F., y Cornejo, E. (2004). Algoritmos genéticos y modelos multivariados recursivos en la predicción de índices bursátiles de américa del norte: IPC, TSE, NASDAQ y DJI. *El Trimestre Económico*, 71(4), 789-809.
- Pincheira, P., y García, Á. (2012). En busca de un buen marco de referencia predictivo para la inflación en Chile. *El Trimestre Económico*. 79(1), 85-123. <https://doi.org/10.20430/ete.v79i313.56>
- Pooniwalla, N., & Sutar, R. (2021). Forecasting Short-Term Electric Load with a Hybrid of ARIMA Model and LSTM Network, *International Conference on Computer Communication and Informatics, ICCCI 2021*, 9402461. <https://doi.org/10.1109/ICCCI50826.2021.9402461>
- Prilistya, S., Permanasari, A.E., Fauziati, S. (2021). The Effect of The COVID-19 Pandemic and Google Trends on the Forecasting of International Tourist Arrivals in Indonesia, *IEEE Region 10 Symposium*.
- Romero, P. (2004). Transmisión de volatilidad a lo largo de la estructura temporal de SWAPS: Evidencia Internacional. *Revista Española de Financiación y Contabilidad*. 33(123), 873-898.
- Soto, R. (2002). Ajuste estacional e integración en variables macroeconómicas. *Cuadernos de Economía*, 39(116), 135-155.
- Valadez, B., & Ortiz, E. (2020). Chicago and Mexico Futures Markets Asymmetries and Hedging Performance. *Estocástica: Finanzas y Riesgo*, 10 (2), 221-251.
- Vishnu, C. R., Sridharan, R., Ram Kumar, P. N., & Regi Kumar, V. (2019). Analysis of the operational risk factors in public hospitals in an indian state: A hybrid DEMATEL-ISM-PROMETHEE approach. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 33(1), 67-88. <https://doi.org/10.1108/IJHCQA-06-2018-0156>