

---

**Desempeño de la cobertura con derivados, análisis de contraste con futuros en CME y MexDer basados en las métricas VaR y ES, bajo un enfoque GARCH (2014 – 2017)**

*Performance of hedging with derivatives, contrast analysis with futures in CME and MexDer based on VaR and ES metrics, under a GARCH approach (2014 – 2017)*

---

**Revista Latinoamericana de Investigación Social, vol. 6, no.2**

**Beatriz Valadez Bautista**

Universidad Nacional

Autónoma de México, México

*betyvaladez@comunidad.unam.mx*

*(correspondencia)*

**Artículo de investigación**

Recibido: 02/02/2024

Aceptado: 09/04/2024

Fecha de publicación: 14/04/2024

**Resumen**

Este trabajo examina, analiza y contrasta el desempeño de la cobertura con el porcentaje de reducción del riesgo, en contratos de futuros sobre divisas en dos mercados significativamente asimétricos y subyacentes con comportamiento inverso en términos de paridad. Futuros peso/dólar en MexDer; y dólar/peso, en Chicago Mercantile Exchange. Análisis realizado en dos pasos: identificando primero, los contrastes aplicando métricas VaR y ES tradicionales, y segundo, aplicando estas métricas mejorando los resultados con GARCH. Se examinan las colas izquierda y derecha de las series de datos, en posiciones cortas y largas, considerando el periodo de octubre de 2016 a junio de 2017, dividido en tres subperiodos. Comparando los resultados obtenidos, entre los contratos de futuros con posiciones cortas y largas, mercados, y con niveles de confianza del 90%, al 99%, probando su validez estadística con Kupiec Backtesting. Observándose en general que la cobertura en el CME manifiesta un mejor desempeño bajo el enfoque GARCH con la métrica ESG; sin embargo, muestra una fragilidad importante por debajo del nivel de confianza del 99 %.

**Palabras Clave:** Valor en Riesgo (VaR); Expected Shortfall (ES); GARCH.

### **Abstract**

*This work examines, analyzes, and contrast the performance of hedging with the percentage of risk reduction, in currency futures contracts in two significantly asymmetric and underlying, in markets with inverse behavior in terms of party. Peso/dollar futures on MexDer, and dollar/peso on Chicago Mercantile Exchange. Analysis carried out in two steps: first, identifying the contrasts by applying traditional VaR and ES metrics; and second, applying these metrics, improving the results with GARCH approach. The left and right tails of the data series are examined, in short and long positions, considering the period from October 2016 to June 2017, divided into three subperiods. Comparing the results obtained between futures contracts with short and long positions markets, with confidence levels of 90% to 99%, testing their statistical validity with Kupiec Backtesting. Observing each other in general. Hedging in the CME shows better performance under the GARCH approach with ESG metrics; however, it shows significant fragility below the 99% confidence level.*

**Keywords:** Value at Risk (VaR); Expected Shortfall (ES); GARCH.

### **Introducción**

Esta investigación, se compone de dos partes, para efectos de contrastar los resultados; en un primer acercamiento se aplicaron las métricas tradicionales Valor en Riesgo (VaR) y Expected Shortfall (ES) tradicionales, evaluando con estas el porcentaje de reducción del riesgo en los mercados mencionados. Asimismo, en la segunda etapa se lleva a cabo la evaluación de dichas métricas bajo un enfoque GARCH, los resultados obtenidos de aplicar a las métricas VaR y ES a este modelo autorregresivo con heterocedasticidad condicional (GARCH 1,1), se contrastan con los obtenidos en el cálculo de las métricas tradicionales. De esta manera, ambos estudios forman parte de esta investigación. En relación con estas métricas, se han desarrollado disímiles técnicas y modelos, no solo para reducir el riesgo de mercado con futuros a partir del VaR y ES, sino también para encontrar la inversión más viable y en su caso permitir oportunidades de arbitraje. El tema de coberturas es recurrente en la literatura, al respecto, se han consultado diversos trabajos de investigación como los de Park & Switzer (1995), Kroner & Sultan (1993) y Choudhry (2003) que evidencian el cálculo, análisis y evaluación del rendimiento de la cobertura con futuros sobre divisas, concluyendo que, al aplicar otras métricas aparte del VaR, los resultados observan un cambio significativo. Es la razón de elegir el CVaR o ES ya que es considerado como una

medida adicional de cobertura que incorpora la posición de negociación y distingue entre el riesgo a la baja y al alza, datos importantes para coberturistas.

Con esta lógica, el objetivo de este estudio concretamente es analizar, contrastar y determinar cuál de esas métricas aplicadas a ambos mercados produce mejores estimaciones, estadísticamente más sólidas y estrictas sobre la cobertura de divisas con los futuros señalados líneas arriba, probando la hipótesis de que es posible obtener una mayor precisión en la estimación de pérdidas potenciales aplicando ES bajo un enfoque GARCH, con diferentes niveles de confianza (90%, 95%, 97.5% y 99%). También se plantea la hipótesis de que la cobertura en el CME conduce a mejores resultados de cobertura que los obtenidos en el MexDer. El periodo de análisis de 2016 a junio de 2017. De lo anteriormente expuesto, surge la siguiente Pregunta de Investigación: ¿Cuál métrica VaR y ES bajo el enfoque GARCH, proporciona un estimador predictivo estadísticamente significativo del porcentaje de reducción del riesgo como desempeño de la cobertura con contratos de futuros, tal que, incorpore la posición de negociación alcista y bajista?

El desarrollo de este trabajo se justifica porque en primera instancia, calcular el VaR y ES bajo un enfoque GARCH, se considera una opción adecuada para atenuar los efectos de la volatilidad, que impacta en las operaciones comerciales, financieras o cambiarias, en las tesorerías de las empresas, los responsables de la formulación de políticas, instituciones reguladoras, inversionistas, administradores de riesgos, así como para las empresas y los gobiernos que mantengan una posición corta en dólares, para reducir el riesgo cambiario y lograr una cobertura en un entorno volátil. Segundo, se han utilizado las métricas VaR y ES, debido a que son las utilizadas con más frecuencia para evaluar las pérdidas potenciales; además de que son las métricas básicas de riesgo por regulación. Asimismo, se considera el cálculo del ES como una medida adicional de riesgo que incorpora la posición de negociación y distingue entre el riesgo a la baja y al alza<sup>1</sup>, ambos, datos importantes para coberturistas y arbitrajistas, enmarcado por la necesidad de cubrir el riesgo en un entorno de presión cambiaria. Y finalmente se eligió el porcentaje de reducción del riesgo por las ventajas señaladas líneas arriba.

---

<sup>1</sup> Lo que da sentido a la pregunta de investigación de este trabajo.

En el mismo orden de ideas, las aportaciones de la presente investigación son: 1) contribuye a la literatura existente al proponer una metodología diferente y pragmática, y 2) contar con una herramienta alternativa de apoyo para los agentes del mercado, para el cálculo, análisis y toma de decisiones sobre la cobertura con futuros financieros, en virtud de que nos encontramos en una región comercial que enfrenta importantes retos económico-financieros. Asimismo, es fundamental recordar que México es la 15<sup>a</sup> economía del mundo (Banco Mundial, 2020), mientras que el peso mexicano se ha posicionado en el puesto 19 de las divisas más utilizadas en el mundo, y para 2022 el Bank for International Settlements (BIS) ubicó al peso mexicano dentro del top 10 de las divisas más populares y utilizadas a nivel mundial, solo detrás del USD, EUR, JPY y GBP, y su par de divisas más populares con el dólar estadounidense (Forex Trading Academy, 2020).

Por tanto, la importancia, y el valor de este trabajo estriba en aprovechar los avances matemáticos y econométricos en el campo de las finanzas para constituir una adecuada medida de riesgo para generar una relación de cobertura con rigor estadístico, coadyuva en el cálculo experto de coberturas aplicando métricas de desempeño actuales, para mejorar la toma de decisiones financieras en un entorno tan volátil como el actual. Por lo anterior, el uso del porcentaje de reducción del riesgo facilita la comparación de los resultados obtenidos. Asimismo, el alcance y las limitaciones de este trabajo se circunscriben a los mercados de Chicago y México, considerando los futuros sobre el peso mexicano y sobre el dólar estadounidense. Bajo este tenor se analizan las posibles causas. También, la presencia de diferencias como es de esperarse, desde la introducción se resaltó las asimetrías entre México y Estados Unidos, mostrados en los análisis presentados en las secciones correspondientes.

Este trabajo está estructurado de la siguiente manera: después de esta introducción, la segunda parte presenta una revisión de la literatura. La tercera sección, describe la metodología de análisis y datos. La cuarta sección muestra el análisis con VaR, ES tradicionales y los modelos econométricos GARCH. La quinta y última sección presenta las conclusiones, y las diversas referencias consultadas.

## **Literatura y evidencia empírica previa**

Si bien, la literatura sobre el desarrollo en el tiempo y la aplicación de las métricas VaR y modelos GARCH multivariados se ha enfocado a mercados financieros desarrollados, un creciente e importante número de estudios han tratado este tema. Al respecto, destacan los trabajos de Park & Switzer (1995), Kroner & Sultan (1993) y Choudhry (2003) en cuyos trabajos de análisis y aplicación de diferentes métricas con diferentes criterios de comparación, priorizan el uso de los métodos GARCH.

En el mismo orden de ideas, el Valor en Riesgo es hoy por hoy una métrica muy utilizada en el ámbito financiero, sumado al hecho de que es la medida básica de riesgo por regulación (Basilea II), asimismo los modelos GARCH de heteroscedasticidad condicional autorregresivos generalizados son muy utilizados para modelar la volatilidad en series de tiempo. Bajo este tenor, el cálculo del VaR en contratos de futuros ha dado lugar a la documentación de diversos artículos, mismos que se citan a continuación.

La volatilidad es la característica esencial de las series de tiempo financieras. En consecuencia, en los inicios de las investigaciones sobre los modelos de las series de tiempo tradicionales bajo el supuesto de varianza homocedástica, se encontró en principio que no eran adecuados para modelar estas series de tiempo. Al respecto, se encuentran diversos estudios que muestran los beneficios de las estrategias de cobertura con futuros aplicando modelos GARCH, como Engle (1982) introduce un nuevo género de procesos estocásticos llamados modelos ARCH, en los que la varianza se determina por la información pasada no constante. Bollerslev (1986) por su parte generaliza los modelos ARCH con su propuesta de modelos GARCH en los cuales la varianza condicional depende no solo de los cuadrados de las perturbaciones, sino que además está en función de las varianzas condicionales de periodos anteriores. Nelson (1991), introduce los modelos EGARCH, en los cuales enuncia para la varianza condicional un modelo que no se comporta de manera simétrica para perturbaciones positivas y negativas, como en los modelos GARCH; expresando otro rasgo de la volatilidad: su comportamiento irregular frente a las alzas y bajas de los precios de los activos financieros.

Por su parte, Burns (2002) compara estimaciones del VaR empleando modelos GARCH univariados. Su estudio fue realizado para una muestra del índice S&P en un período de casi 70 años de rendimientos diarios. De su trabajo se desprende que con los modelos GARCH se obtienen resultados más precisos que con las metodologías tradicionales. Guo (2003) utilizó un marco metodológico dinámico de correlación condicional bivariada.

Elescano y Agüero (2004), proponen un esquema para realizar el análisis de datos generados por una familia de procesos estocásticos con Heterocedasticidad Condicional Autoregresiva-ARCH, ajustando un modelo ARCH para pronosticar la volatilidad de las cotizaciones de las acciones de una empresa peruana. Kroner y Sultan (1993), retomaron el tema de la eficiencia de las coberturas con contratos de futuros a partir de la varianza, VaR y CVaR o ES, tomando como muestra siete mercados internacionales, calculando el Ratio de Cobertura Óptimo (RCO) con modelos GARCH y DVECH GARCH, comparándolas con el uso de métodos enfocados en las técnicas modernas de administración de riesgos, encontrando diferencias significativas entre las coberturas cortas y largas, más tarde, Lien y Li (2007), estimaron un ratio de cobertura esperado en lugar del real con futuros de tipo de cambio, para evaluar la utilidad de la estrategia de cobertura y el de la cobertura en los datos ex post, utilizando la varianza condicional.

### **Literatura y evidencia empírica previa en América Latina y México**

Alonso, J., & Arcos, M. (2006) emplean diversos métodos paramétricos y no paramétricos para el cálculo de la métrica VaR para un portafolio con 7 mercados latinoamericanos; utilizando modelos EWMA y TGARCH, resultando ser los modelos más adecuados para niveles de confianza del 95%, sin embargo, con desempeño bajo tomando un nivel de confianza del 99%. Vergara y Maya (2007) cuentan con trabajos sobre los modelos GARCH paramétricos y no paramétricos para los rendimientos de acciones pertenecientes al mercado colombiano, en su trabajo presentan aplicaciones de los modelos VaR y GARCH multivariados concluyendo que la modelación de la distribución condicional de rendimientos corrobora la superioridad de la estimación de estos modelos sobre la matriz de covarianza condicional en la determinación de las ganancias obtenidas. López Herrera (2006) presenta un análisis econométrico para el estudio de la prima de riesgo para el mercado mexicano y

su relación de segmentación parcial con respecto al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN); por su parte, Ludlow y Mota (2006) presentan una comparación de volatilidades con los índices Nasdaq y Standard and Poor's 500 (S&P 500, Estados Unidos), y el índice de Precios y Cotizaciones (IPC, México) mediante una estimación simultánea utilizando modelos GARCH multivariados; por otra parte Ortiz, et al. (2007a) analizan el curso de la integración de los mercados de capitales en las economías que conforman el bloque regional del TLCAN mediante un modelo econométrico de cointegración, así como también las relaciones intrínsecas de la volatilidad y los rendimientos entre los mercados bursátiles indicados aplicando modelos GARCH multivariados.

Por último, Ramírez y Ramírez (2007) enfocan su estudio al análisis de metodologías VaR aplicado a acciones mexicanas. De Jesús y Ortiz (2012) trabajan con el modelo CVaR en conjunto con la teoría de valores extremos aplicándolos a Índices Accionarios de los Mercados de Brasil y México. Además, Reyes y Ortíz (2013) utilizan la metodología M-VaRCH (Value at Risk models y modelos GARCH multivariados) para analizar carteras trinacionales de los países del TLCAN, Canadá, Estados Unidos y México.

Estos investigadores emplean la metodología M-VaRCH (modelos Value at Risk y modelos GARCH multivariados), la cual presupone un mayor conservadurismo y precisión en la estimación de pérdidas potenciales de portafolios de inversión. La diversificación regional en mercados accionarios, bajo el contexto de la globalización, es trascendental porque presenta oportunidades importantes de altos rendimientos minimizando riesgos, dado el diferente grado de desarrollo y estabilidad de sus mercados. Esto resalta la necesidad de una eficiente administración de riesgos Reyes y Ortíz (2013).

Derivado de la diversa literatura consultada y mencionada líneas arriba, se refuerza este trabajo considerando el uso de la Varianza, VaR y CVaR o ES y dado que es importante reconocer la naturaleza de la volatilidad del riesgo de tipo de cambio. Asimismo, se considera conveniente aplicar modelos GARCH en el cálculo de las coberturas con futuros sobre divisas utilizando las métricas VaR y ES. En general y derivado de la literatura mencionada, se reconoce mayor precisión y un trato conservador en la estimación de pérdidas potenciales

de portafolios de inversión con futuros sobre divisas (dólar y peso). En tanto que la diversificación bajo el contexto de la globalización es trascendental ya que presenta oportunidades importantes de altos rendimientos minimizando riesgos, dado el diferente grado de desarrollo y estabilidad de sus mercados. Esto resalta la necesidad de una eficiente administración de riesgos, Reyes y Ortíz (2013).

Resumiendo, se reconoce la importancia de la investigación sobre el riesgo asociado al tipo de cambio y las estrategias de cobertura, considerando que bajo la relevancia del VaR y ES o CVaR subyace la preeminencia de la volatilidad del tipo de cambio sobre las pérdidas potenciales. Se observa en este trabajo que la aplicación del enfoque GARCH a estas métricas mejora su precisión y aplicabilidad. Por otro lado, en relación con la cobertura con futuros sobre divisas, la investigación académica se ha concentrado en otros temas de riesgo, como la determinación del índice de cobertura óptimo. La aplicación de métricas VaR ha sido limitada, aunque se han propuesto diversos modelos muy sofisticados en mercados maduros y economías desarrolladas.

Bajo este tenor, las aplicaciones del VaR para los mercados emergentes se han ocupado principalmente del impacto de los tipos de cambio en el comercio, las inversiones reales y de cartera. Igualmente, la investigación con datos intradía de alta frecuencia es inexistente en estos mercados debido a la escases de información, así como a los elevados costos de ésta. No hay trabajos concretos sobre la cobertura de tipo de cambio en México, Además, este estudio ha utilizado métricas VaR para comparar la eficiencia de la cobertura entre dos mercados, uno completamente desarrollado y el otro un mercado emergente, se estimó la cobertura de los futuros dólar/peso del CME de Chicago de cara a los futuros peso/dólar en el MexDer de México. El modelado econométrico final con VaR y ES incluye un enfoque GARCH para evitar supuestos erróneos de homocedasticidad asumidos en diversos estudios.

## **Metodología y datos**

### **Líneas de corte**

Se ha llevado a cabo una cuidadosa estrategia de investigación, tomando en cuenta las

grandes diferencias existentes entre el MéxDer y el CME. Las características del contrato son similares. Sin embargo, el CME es el mercado de futuros más grande a nivel mundial y sus operaciones comenzaron en el siglo XIX. El MexDer, por el contrario, es un mercado pequeño de una economía emergente ya que después de diversas emisiones transitorias de algunos activos forward-warrant, el mercado finalmente comenzó a operar el 15 de diciembre de 1998: negociando precisamente futuros peso/dólar. No obstante que los contratos de futuros en ambos mercados siguen normas similares por ser estandarizados, además de las diferencias en tamaño y madurez, la gran diferencia estriba en el tamaño del contrato. En México, cada contrato de futuros cubre un lote de \$10,000 dólares estadounidenses. En el CME cada contrato de futuros cubre un lote de \$500,000 pesos mexicanos, unos \$29,412 dólares estadounidenses. Los futuros en cada mercado están sujetos a la volatilidad de ambas monedas, siendo el dólar la principal moneda.

El periodo de análisis va de octubre de 2016 a junio de 2017. Los datos del CME y del MexDer se obtuvieron de Bloomberg. El tipo de cambio de Banxico (Banco Central de México). Para este tema de investigación se eligió analizar un ciclo de nueve meses subdividido en tres subperiodos. Los intervalos entre estas particiones son: el primer subperiodo (Ex ante) de octubre a diciembre de 2016, en este se analiza el comportamiento de las coberturas previo a un periodo de estrés, el segundo subperíodo (Durante) examina el problema durante una temporada de volatilidad, considerada de enero a marzo de 2017, impactada por las tensiones causadas a la economía mexicana por la caída e inestabilidad de los precios del petróleo (la segunda mayor exportación de México), así como por un tipo de cambio inestable; el tercer subperiodo (Ex-post) comprende de abril a junio de 2017, cuyo objetivo es examinar el comportamiento de los futuros post-estrés tanto en el mercado de futuros de México como en el de Chicago. Este enfoque nos permite analizar a profundidad el desempeño de la cobertura en ambos mercados. La Tabla 1 muestra estos subperiodos.

**Tabla 1**

*Periodos de Corte (Presión del Tipo de Cambio)*

Periodos de Presión del Tipo de Cambio			
Futuros del Peso, Chicago			
Subperiodos	De	A	Periodo

EXANTE_FMX	OCT16	DIC16	Anterior a presión del tipo de cambio
DENTRO_FMX	ENE17	MAR17	Dentro de presión del tipo de cambio
EXPOST_FMX	ABR17	JUN17	Posterior a presión del tipo de cambio
Futuros del Dólar en México			
EXANTE_FDÓLAR	OCT16	DIC16	Anterior a presión del tipo de cambio
DENTRO_FDÓLAR	ENE17	MAR17	Dentro de presión del tipo de cambio
EXPOST_FDÓLAR	ABR17	JUN17	Posterior a presión del tipo de cambio

Nota:Elaboración propia con datos de Blomberg y Banco de México.

### Análisis de Estacionariedad y Estadísticas Básicas.

Se utilizaron los precios de cierre para el cálculo de los retornos logarítmicos, procediendo al análisis estadístico utilizando estos resultados,

$$r_i = \log \left[ \frac{p_i}{p_j} \right], \quad p_i > p_j \quad (1)$$

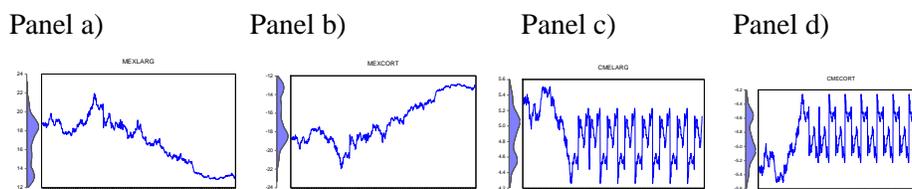
Para asegurar respuestas bien fundamentadas a la hipótesis planteada, en primer lugar, se ha procedido a probar la estacionariedad de las series; aplicando la prueba ADF. Para robustecer el trabajo también se ha efectuado la prueba t-Student y para reforzar los resultados de la estacionariedad de las series. También se empleó la prueba de normalidad de Jarque-Bera (Jarque-Bera, 1987).

Adicionalmente a las pruebas aplicadas, mencionadas arriba, se incluyó la prueba ARCH-LM de homocedasticidad, para uno, dos, tres y cuatro rezagos. Al utilizar el criterio de Akaike-Schwartz se determinó con cuantos rezagos los resultados son menores que esos criterios; esto ayuda a determinar el modelo GARCH relevante, que se espera que sea un GARCH (1,1). Los modelos ARCH y GARCH se aplican con intercepto y media móvil. Los resultados se han examinado siguiendo las pruebas y criterios antes mencionados.

En relación con el análisis y ajuste de la volatilidad, la desviación estándar en términos estadísticos es una medida rigurosa de los cambios aleatorios, generalmente con variaciones impredecibles en la rentabilidad o en el precio de un título. Las Figuras 1 y 2 muestran el comportamiento histórico de los precios spot y futuros y los rendimientos logarítmicos tanto para el MexDer como para el CME.

### Figura 1

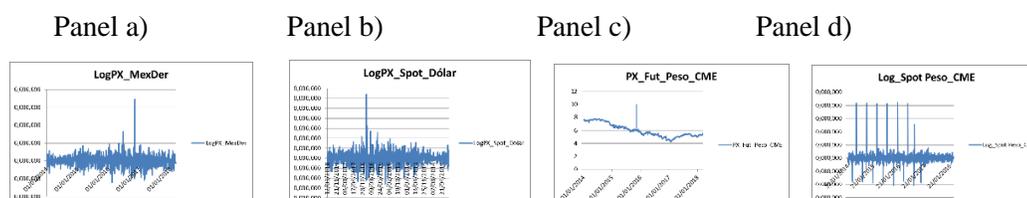
*Comportamiento de las series de los precios de futuros*



*Nota:* Elaboración propia a partir de datos de los precios de futuros de MexDer y CME de Bloomberg (E-views 10).

## Figura 2

*Comportamiento de las series de los rendimientos logarítmicos de los futuros*



*Nota:* Elaboración propia de los rendimientos logarítmicos a partir de datos de los precios de futuros de MexDer y CME (E-views 10).

El comportamiento asimétrico de las series de rendimientos logarítmicos se debe a que la volatilidad puede ser afectada de forma diferente (con rendimientos positivos o negativos). Los rendimientos negativos según lleguen al mercado buenas o malas noticias. Los rendimientos negativos mayores y más frecuentes llevan a incrementos mayores en volatilidades en el futuro.

La Tabla 2 muestra las estadísticas básicas de las series de datos completa, en el cual se puede observar que los valores de la media en ambos mercados para los precios de futuros y los respectivos retornos son positivos. En cuanto a la serie de precios, la varianza en el MexDer es más grande que la varianza del CME. Así los retornos logarítmicos muestran un comportamiento opuesto; la desviación estándar del CME es mayor.<sup>2</sup> En lo concerniente a la Kurtosis; la Tabla 2 destaca el hecho de que todas las series de retorno tienen picos altos. En lo que se refiere a la asimetría, todas las series son asimétricas.

<sup>2</sup> Los resultados econométricos mostrados en los Cuadros 3 4 4 se obtuvieron empleando E-View 10.0.

En conclusión, el estadístico Jarque Bera confirma que todas las series son no-normales. Las notables diferencias en el comportamiento estadístico de estos mercados se pueden atribuir a que los lotes de futuros se negocian en monedas de distinto valor, reflejando así la inestabilidad del peso en el MexDer. Sin embargo, este comportamiento también sugiere la presencia de una segmentación de mercado entre estos dos países vecinos; aparentemente, los participantes (hedgers) en estos mercados pertenecen a grupos bien diferenciados. Lo más probable es que pocos participantes operen en ambos mercados. Las diferencias determinadas también revelan oportunidades para el arbitraje de precios; El precio del dólar en el MexDer y su equivalente en pesos en el CME probablemente presenten desequilibrios temporales de precios creando oportunidades de arbitraje.<sup>3</sup>

**Tabla 2**

*Estadísticas de las series de precios y retornos logarítmicos del MexDer y CME*

Estadísticas básicas de las series de los precios y retornos logarítmicos del MexDer y CME							
Precios de Futuros							
Mercado	Futuros	Media	Desv. Std	Sesgo	Curtosis	Jarque-Bera	ADF
MexDer							
	Dollar Futuros	16.8449	2.4040	-0.2712	1.907	66.852	-13.166
	Dollar Contado	16.8401	2.4094	-0.2654	1.898	67.274	-19.353
CME							
	MXP Futuros	5.9999	1.0064	-0.4909	2.102	37.557	-23.394
	MXP Contado	4.8992	0.3004	-0.1028	2.106	37.849	-31.623
Series de Retornos Logarítmicos							
Mercado	Retornos	Media	Desv. Stadr	Sesgo	Curtosis	Jarque-Bera	ADF
MexDer							
	Dólar Futuros	0.00002	0.0083	-0.1363	3.657	22.739	-2.864
	Dólar Contado	0.00003	0.0001	-0.0448	4.827	150.243	-2.864
CME							
	MXP Futuros	0.00014	1.0984	-0.1291	8.064	1154.824	-2.864
	MXP Contado	0.00014	1.0918	-0.1209	9.449	1870.436	-2.854
95% C.V.						5.99	-3.96

*Nota:* Elaboración propia con retornos logarítmicos de datos de precios de futuros de Bloomberg y Banco de México (E-views10).

<sup>3</sup> Tomar ventaja entre los precios más bajos y altos, con ganancias en el diferencial.

**Tabla 3**

*Pruebas de Heterocedasticidad ARCH-LM*

Pruebas de Heterocedasticidad				
ARCH TEST				
Criterio:	Dollar Futures	Spot Dollar	MXP Futures	Spot MXP
Akaike	-8.7058	-8.7455	-6.7534	-6.9092
Schwarz	-8.6921	-8.7270	-6.7349	-6.8907
Hannan-Quinn	-8.7006	-8.7385	-6.7464	-6.9022
GARCH Test				
Akaike info	-8.7791	-8.8560	-6.7734	-6.7903
Schwarz	-8.7607	-8.8328	-6.7449	-6.9672
Hannan-Quinn	-8.7721	-8.8472	-6.7564	-6.9815
ARCHLM 1 Test				
Akaike info	3.9088	3.9640	9.1179	6.7677
Schwarz	3.9180	3.9732	9.1271	6.7770
Hannan-Quinn	3.9123	3.9675	9.1214	6.7712

*Nota:* Elaboración propia con retornos logarítmicos de los datos de precios de futuros de Bloomberg y Banco de México (E-views10).

En la Tabla 3, al realizar las pruebas ARCH 1 y GARCH (1,1). En los resultados de los criterios de información: Akaike, Schwartz y Hannan, cuya regla de decisión es elegir los de menor valor se observa que los resultados para los criterios mencionados fueron más pequeños en el caso del GARCH (1,1), lo que justifica aplicar este modelo. Por otro lado, dicho modelo es utilizado generalmente en la mayoría de los casos para instrumentos financieros.

Por otro lado, los resultados de la prueba Dickey Fuller de Raíz Unitaria Aumentada (ADF), Dickey, and Fuller (1996) (indican que las series normales (brutas) no son estacionarias, ya que el valor de la prueba es menor que el valor crítico (-3.96); sin embargo, las series de retornos logarítmicos son estacionarias según el mismo criterio. Esto es sustancial desde el punto de vista de la cobertura, ya que las series no estacionarias pueden dar lugar a resultados de regresión espurios y, por tanto, invalidar la estimación de la cobertura. Las Figuras 1 y 2 y la Tabla 2 confirman que las series temporales spot y futuras de los mercados de derivados de México y Chicago son no-normales; Estos hallazgos justifican, en pocas palabras, la decisión de probar la estacionariedad aplicando la prueba de

raíz unitaria aumentada de Dickey y Fuller (Dickey y Fuller, 1996). Los resultados se presentan en la Tabla 2. Se ha aplicado esta prueba para niveles de precios y primeras diferencias sin intersección ni tendencia. La prueba confirma que las series de rendimientos logarítmicos son no-estacionarias, como se muestra en la Tabla 2.

En la Tabla 3, se muestran los resultados de las pruebas ARCH 1, GARCH (1.1) y ARCHLM 1, comprobando los resultados según los criterios de Akaike, Schwartz y Hannan. La regla de decisión indica seleccionar el modelo que tenga los valores numéricos más bajos que en este caso corresponde a la prueba GARCH (1.1). Esto fortalece el uso de este modelo.

## **Cálculo del VaR y ES**

### **Valor en Riesgo (VaR)**

El VaR de una cartera de contratos de futuros financieros se define como la pérdida máxima esperada que afrontará un inversor en un horizonte temporal, dado un nivel de confianza  $\alpha$ , normalmente del 95%, 97.5% y 99%, a la hora de invertir, o liquidar posiciones en su cartera debido a movimientos imprevistos que afectan factores del mercado como tipos de cambio, tasas de interés, precios de activos financieros. De igual manera, es la métrica utilizada por las autoridades reguladoras para procurar el control de las operaciones realizadas por las entidades financieras, para establecer medidas estándar de requisitos de capital de las entidades financieras.

En términos estadísticos, el VaR se define como la probabilidad de que los cambios en el valor del portafolio no excederán la máxima pérdida durante un horizonte de tiempo especificado para un nivel de confianza  $\alpha$ ; Sea,

$$\Pr (\Delta P \leq -\text{VaR}\alpha) = \alpha \quad (2)$$

Donde  $\Delta P$  representa los cambios o pérdidas en el valor del portafolio. Otra forma para estimar el VaR de un portafolio se obtiene al encontrar la función inversa de la distribución acumulada de los factores de riesgo. Esto es, se fija un espacio de probabilidad  $(\Omega, F, P)$  donde  $\Omega$  representa el espacio muestral o conjunto de posibles resultados,  $F$  es una  $\sigma$  – álgebra que representa los eventos medibles,  $P$  es una medida de probabilidad y  $X$  es una

variable aleatoria que representa las pérdidas y ganancias del portafolio de inversión durante un horizonte de tiempo.

$$F_X(x) = \Pr(X \leq x) \quad (3)$$

Donde  $F_X(x)$  es una función continua con función de densidad  $f_X(x) > 0 \forall x \in R$   $F_X(x)$  es creciente estrictamente  $\forall x \in R$ , tal que  $\exists F_X^{-1}(x)$ , con  $0 < x < 1$ . Por tanto, el VaR de la v.a.  $X$  se determina por el percentil  $\alpha$  de la distribución de pérdidas y ganancias  $F_X(x)$ , esto es,

$$VaR_\alpha = -F_X^{-1}(x) \quad (4)$$

En suma, sea el conjunto  $M \subset L^0(\Omega, F, P)$  que representa el conjunto de variables aleatorias de los riesgos financieros, haciendo un mapeo de  $M$  en  $R$ , tal que,  $\rho: M \rightarrow R$ , con  $X \rightarrow \rho(X)$  en el intervalo de confianza  $\alpha \in (0,1)$ . El Valor en Riesgo con un nivel de confianza dado  $\alpha$  por el menor número tal que la probabilidad de quebranto  $X$  sea mayor que la unidad (1) no es mayor que  $(1-\alpha)$  tal que,

$$VaR = \min \{x \in R: P(X > x) \leq 1-\alpha\} \quad (5)$$

$$= \min \{X > x: F_{X \geq} \alpha\} \quad (6)$$

Proporciona el rendimiento que se excede con  $(100 - \alpha) \%$  de probabilidad. Sin embargo, dos portafolios pueden tener el mismo valor del VaR pero con pérdidas potenciales diferentes. Esto se debe a que el VaR no calcula pérdidas más allá del percentil  $(100 - \alpha) \%$ . La deficiencia se mitiga al estimar una métrica de rendimiento adicional llamada Valor en Riesgo Condicional (CVaR) o Expected Shortfall (ES). Misma que se describe líneas abajo.

El Valor en Riesgo se calcula aplicando  $\alpha_i$ , con  $i = 1\%, 2.5\%, 5\%$ , y  $10\%$ . El índice de desempeño empleado en este estudio es la reducción porcentual del riesgo con VaR. En el mismo orden de ideas, a la valuación de la reducción porcentual del riesgo aplicando GARCH (a lo largo de este trabajo se denominará VaRG), midiendo el porcentaje de

reducción del VaR (GARCH) de un portafolio cubierto contra el VaR (GARCH) de un portafolio sin cubrir, esto se aplica a ambos VaR y ES, con la versión modificada de la expresión original de Cotter y Hanly (2006), bajo el enfoque GARCH.<sup>4</sup>

La expresión de Cotter y Hanly utilizada en la primera parte para la evaluación con las métricas tradicionales, es:

$$VaR = 1 - \left\{ \frac{VaR_{i\%} \text{ portafolio cubierto}}{VaR_{i\%} \text{ portafolio no cubierto}} \right\} \quad (7)$$

Y la versión modificada por la autora, evaluando la métrica bajo un enfoque GARCH es:

$$VaRG = 1 - \left\{ \frac{VaR(GARCH)_{i\%} \text{ portafolio cubierto}}{VaR(GARCH)_{i\%} \text{ portafolio no cubierto}} \right\} \quad (8)$$

Donde VarG es igual a la reducción porcentual del VaRG de la cartera cubierta respecto de la cartera no cubierta. Si los contratos de futuros eliminan completamente el riesgo entonces VarG = 1, mientras que si no reducen el riesgo VaRG = 0. Por lo tanto, sea x el resultado de aplicar las métricas, entonces  $[x \in \mathbb{R} \mid 0 \leq x \leq 1]$ , por lo tanto, una x mayor indica un mejor desempeño de la cobertura. Las estimaciones correspondientes de han llevado a cabo con niveles de confianza  $\alpha = 10\%$ ,  $5\%$ ,  $2.5\%$ , y  $1\%$ .<sup>5</sup>

El VaR como métrica de riesgo han generado diversas críticas, ya que demuestra inestabilidad para trabajar numéricamente si no existe una distribución Normal de pérdidas, como lo demuestra la evidencia empírica. Por lo tanto, la coherencia se basa únicamente en la desviación estándar de las distribuciones normales de los rendimientos de los activos, bajo los supuestos de distribución Normal el VaR es proporcional a la desviación estándar de los rendimientos de los activos (Reyes y Ortiz, 2013). Esto nos lleva a elegir la métrica ES que es una métrica coherente ya que proporciona un estimador no solo de la probabilidad de

<sup>4</sup> Modelo modificado por la autora, del modelo propuesto para el cálculo de la métrica de desempeño utilizada para evaluar el desempeño de la cobertura Cotter y Hanly (2006). Reducción porcentual en el VaR bajo el enfoque GARCH.

<sup>5</sup> The formula generalizes for portfolios of n assets. Our portfolio comprises only one asset in each market: the dollar in the MexDer and the Peso in the CME. The hedged portfolio refers to the asset protected with a futures contract; the unhedged portfolio simply holds the original asset unhedged.

pérdida, sino también de su magnitud.

### Valor en Riesgo Condicional (CVaR) o Expected Shortfall (ES)

Esta métrica mide la pérdida media condicionada al hecho de que se ha excedido el VaR. El CVaR o ES se usa como una métrica de desempeño de la cobertura porque proporciona una cobertura con un estimador no solo de la probabilidad de pérdida, sino también de la magnitud de una posible pérdida. Esto significa que administrar el riesgo a través de la métrica VaR puede ser ineficiente para capturar los efectos de la diversificación que reducen el riesgo del portafolio. Uryasev y Rockafellar (2002) dieron una respuesta a la problemática del VaR con el Conditional Value at Risk (CVaR) o Expected Shortfall (ES). De forma particular, cuando la distribución de pérdidas y ganancias se asume como una distribución normal, el ES se evalúa.

$$ES = \int_{-\infty}^t (t - R)^1 dF(R) \quad (9)$$

$$(ES)_\varphi(X) = E[-X | -X \leq VaR_\varphi(X)] = \frac{e^{-\frac{q^2}{2}}}{\varphi\sqrt{2\pi}} \quad (10)$$

Esta métrica, representa una medida de riesgo alternativa para enmendar parcialmente las deficiencias que presenta el VaR. CVaR está en diversa literatura referido como el déficit esperado o Expected Shortfall, para efectos de este estudio se abrevia como ES.

Para una v.a.  $X$ ,  $E(|X|) < \infty$  y su función de distribución  $F_X$ , el Expected Shortfall con un nivel de confianza dado  $\alpha \in (0,1)$  y se puede definir como,

$$(ES) = \frac{1}{1 - \alpha} \int_0^1 q_u(F_X) du \quad (11)$$

Donde  $q_u(F_X) = F_X(u)$  es una función cuantil de  $F_X$ , así la relación entre el VaR y ES es,

$$CVaR(ES) = \frac{1}{1 - \alpha} \int_0^1 VaR(F_X) du \quad (12)$$

La medida de exceso esperado es una medida de riesgo coherente basada en el valor esperado de las pérdidas potenciales que exceden el nivel del VaR. Por su parte, esta medida de riesgo robusta ha sido estudiada en forma independiente y definida de diferentes formas por varios autores recientemente. Los principales nombres o variantes que ha adoptado esta medida de riesgo son los siguientes: esperanza condicional de la cola (Tail Conditional Expectation, TCE), esperanza condicional del peor escenario (Worst Conditional Expectation, WCE), media de la cola (Tail Mean, TM), esperanza condicional matemática de las pérdidas que han excedido el nivel del VaR, Expected Shortfall (ES), Valor en Riesgo Condicional (Conditional Value at Risk, CVaR) (De Jesús 2008).

En términos estadísticos, la métrica ES se fundamenta en una distribución continua cuya variable aleatoria mide los cambios de las pérdidas en el valor del portafolio, se puede definir como: la esperanza matemática condicional de las pérdidas que han excedido el nivel del VaR,

$$ES_{\alpha}(X) = -E(X|X \leq VaR(X)) \quad (13)$$

De la misma forma en que se definió la métrica de rendimiento en la ecuación (8) para evaluar el desempeño de la cobertura en el modelo propuesto VaRG, se modifica el coeficiente para incluir el enfoque GARCH, para evaluar el desempeño de la cobertura en dicho modelo. Aquí, esa métrica corresponde a la reducción porcentual de ES, bajo los niveles de confianza considerados en el VaRG. Asimismo, de manera análoga a los cálculos de la métrica anterior, la expresión de Cotter y Hanly para la primera parte, es:

$$ES = 1 - \left\{ \frac{ES_{i\%} \text{ hedged portfolio}}{ES_{i\%} \text{ unhedged portfolio}} \right\} \quad (14)$$

El coeficiente propuesto de eficiencia modificado a partir del de Cotter y Hanly (2006) para incluir el modelado GARCH es:

$$ESG = 1 - \left\{ \frac{ES(GARCH)_{i\%} \text{ hedged portfolio}}{ES(GARCH)_{i\%} \text{ unhedged portfolio}} \right\} \quad (15)$$

Por tanto, si se tiene que una posición en CME tiene un VaRG más alto pero un ESG más bajo que los futuros de MexDer, eso indica que la volatilidad de los futuros en CME es mayor en situaciones normales del mercado, pero en situaciones extremas los futuros de MexDer tienen una volatilidad mayor.

## **Modelos GARCH**

El uso de modelos GARCH se ha generalizado para explicar la variación del tiempo. En general, los modelos GARCH asumen que la varianza condicional se ve afectada por su propia historia y la historia por los cambios. La ventaja de estos modelos es que tienen la capacidad de capturar el comportamiento de las series de tiempo financieras, tales como la correlación de las series en la volatilidad y las variaciones en las volatilidades. En diversa literatura sobre cobertura óptima se encuentra que se han utilizado modelos GARCH multivariados para generar RCO Kroner & Sultan, (1993). Sin embargo, el desempeño de los modelos GARCH multivariados ha sido escasa al utilizarlos para generar pronósticos en horizontes de cobertura más largos Brooks et. al., (2002) y no es este caso.

El modelo GARCH que se utiliza es el Vector GARCH (1,1) propuesto por Bollerslev (1986). Este modelo también se ha utilizado para generar el radio de cobertura óptima (RCO) por Baillie y Myers (1991) y Brooks y Chong (2001). El modelaje de las ecuaciones condicionales de media y varianza es como sigue:

$$r_{st} = \mu_s + \varepsilon_{st} \quad (16)$$

$$r_{ft} = \mu_f + \varepsilon_{ft} \quad (17)$$

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{st} \\ \varepsilon_{ft} \end{pmatrix} \omega_{t-1} \sim N(0, \sigma_t^2) \quad (18)$$

$$\sigma_{st}^2 = \gamma_s + \alpha_s \varepsilon_{s,t-1}^2 + \beta_s \sigma_{s,t-1}^2 \quad (19)$$

$$\sigma_{ft}^2 = \gamma_f + \alpha_f \varepsilon_{f,t-1}^2 + \beta_f \sigma_{f,t-1}^2 \quad (20)$$

$$\sigma_{sft}^2 = \gamma_{sf} + \alpha_{sf} \varepsilon_{s,t-1}^2 \varepsilon_{f,t-1}^2 + \beta_{sf} \sigma_{sf,t-1}^2 \quad (21)$$

Donde:

rst y rft: Rendimientos del spot y los futuros, respectivamente.

est y eft: Residuales que representan las innovaciones en el spot y los precios de futuros.

$\Omega_{t-1}$ : Conjunto de información en el tiempo t-1.

$\sigma_{st}^2$  y  $\sigma_{ft}^2$ : Varianza del spot y futuros.

$\sigma_{sft}$ : Covarianza entre ellos.

Sin embargo, este modelo restringe a las matrices diagonales  $\alpha$  y  $\beta$ , por lo que, solo se usa la porción triangular superior de la matriz de varianza-covarianza. Esto significa que la varianza condicional depende de los valores pasados de sí mismo y los valores pasados de las innovaciones cuadradas de los rendimientos. Esto reduce la cantidad de parámetros a nueve (cada  $\alpha$  y  $\beta$  tienen tres elementos). Esto está sujeto al requisito de que la matriz de varianza-covarianza sea positiva definida para generar elementos positivos de cobertura. Sean,

$$r_{st} = \theta_{s0} + \sum_{j=1}^J r_{s,t-j} \theta_{sj} + \varepsilon_{st}, r_{ft} = \sum_{k=1}^K \theta_{fk} + \varepsilon_{ft} \quad (22)$$

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{st} \\ \varepsilon_{ft} \end{pmatrix} \Big| \Omega_{t-1} \sim N(0, \sigma_t^2) \quad (23)$$

$$\sigma_{sft}^2 = \rho \sigma_{st} \sigma_{ft} \quad (24)$$

Donde,  $j, k = 1$  para el modelo GARCH (1,1)  $\gamma$ ,  $\alpha$  y  $\beta$  son positivos, con  $\alpha_i + \beta_i \leq 1$ , para  $i = s, f$ . Las medias condicionales siguen un proceso autoregresivo. El coeficiente de correlación condicional  $\rho$  en la ecuación (34) es constante. Una ventaja de este modelo es que es una matriz semidefinida positiva, sujeto a que las varianzas condicionales sean positivas, lo que significa que la matriz de varianza-covarianza es positiva o no-negativa. Al utilizar este método, los resultados se utilizan para construir portafolios de cobertura donde  $+r_s - h * r_f$  Cobertura corta, y  $-r_s + h * r_f$  Cobertura larga,  $r_s$  y  $r_f$  son los rendimientos de los futuros y el contado respectivamente, y  $h *$  es la cobertura estimada.

### Back Testing o prueba de proporción de fallos

Kupiec (1995) propuso una prueba cuyo objetivo es cuantificar con un nivel de significancia propuesto para la métrica VaR, es consistente con la proporción de fallos que presenta el modelo, es decir, se trata de confirmar si el modelo es apropiado desde el momento en que se producen las pérdidas o las ganancias que superan el VaR en el período considerado. La hipótesis de este artículo intenta validar si el índice de fallos es similar al nivel de significancia del modelo. Este test comprueba que la probabilidad de que el número

de fallos sea igual a “x” en una muestra “n”, y se determina a partir de una Distribución Binomial. Sea,

$$P(x; n; p^*) = \binom{n}{x} (p^*)^x (1 - p^*)^{n-x} \quad (25)$$

La probabilidad de fallo ( $p^*$ ) de la métrica VaR se estima aplicando un proceso de máxima verosimilitud, i.e., un índice de verosimilitud (LR). Finalmente se recogen los logaritmos de una Distribución Binomial y se maximiza esta función con respecto a la probabilidad estimada ( $\tilde{p}$ ). Una vez que se ha obtenido el estimador de máxima verosimilitud LR, se realiza un contraste estadístico entre las probabilidades teóricas y las estimadas ( $p^*$  y  $\tilde{p}$ , respectivamente). La evaluación del nivel de significancia se realiza a partir del índice de máxima verosimilitud, partiendo del logaritmo de la distribución de probabilidad aplicada para cada una de las probabilidades; dicha razón o índice de verosimilitud se define como sigue:

$$LR_{UC} = 2 \left[ \frac{(p^*)^x (1-p^*)^{n-x}}{(\tilde{p})^x (1-\tilde{p})^{n-x}} \right] \quad (26)$$

La prueba LR representa una distribución Chi- cuadrado con 1 grado de libertad.

### **Análisis empírico**

Hasta ahora se han establecido las características estadísticas de las series de precios y rendimientos determinando el modelo GARCH (1,1) apropiado para estimar la volatilidad de los rendimientos logarítmicos de las series spot y de futuros del MexDer y del CME.

Asimismo, se han presentado los modelos econométricos para estimar las métricas VaR y ES tradicionales, así como las métricas VaRG y ESG. Con el propósito de lograr la mayor precisión, en esta sección se muestra y contrasta la evidencia obtenida utilizando niveles de confianza del 90%, 95%, 97% y 99%. En la Tabla 5 se muestran los resultados del desempeño de la cobertura para cada métrica utilizada, es decir, en primera instancia VaR y ES tradicionales, cada una de las particiones, estrategias de cobertura (corta y larga) y cada uno de los niveles de confianza considerados. El desempeño de las estrategias de cobertura

para cada una de las métricas implica la generación de muchos resultados contrastantes, lo que nos permite resaltar algunas diferencias clave.

En primer lugar, es importante destacar que ambas hipótesis se han confirmado. Esto se aprecia en la Tabla 6, ya que, en todos los resultados, el modelo ES-GARCH (ESG) supera a la métrica VaR-GARCH (VaRG). Las estimaciones son más precisas en todos los niveles de confianza, tanto para el Mercado Mexicano como para el CME, nuevamente, tanto para las posiciones cortas como largas. De manera similar, el mercado de Chicago muestra un mejor desempeño que el mercado mexicano en 28 de un total de 48 alternativas de cobertura. La Tabla 6 además muestra que para todas las posiciones (cortas y largas) (cortas y largas) a niveles de confianza de 97.5% y 99%, el desempeño de CME supera el desempeño de México. La Tabla 6 también muestra que al aplicar el modelo ESG. En niveles de confianza más bajos, los modelos VaRG y ESG intercambian algunos resultados.

Un dato curioso observado, es que para la posición corta en el MexDer la estimación más rigurosa es de un nivel de confianza del 95%; pero para la posición larga la mejor estrategia de cobertura se puede lograr con un nivel de confianza del 99%, para dicha posición las mejores métricas se comparten entre los niveles de confianza del 95%, 97.5% y 99%.

Los resultados muestran que la máxima protección para la posición corta durante el período de turbulencia se logra con la métrica ESG al nivel de confianza del 95%; lo que representa la reducción porcentual del déficit esperado en la posición cubierta en comparación con la posición no cubierta; cuando el coeficiente se acerca a uno (100% en nuestros análisis para facilitar la interpretación de los resultados), hay una disminución total del riesgo; por el contrario, si tiende a cero, implica que no hay reducción de riesgo en el MexDer; Esto se puede atribuir a la volatilidad de los futuros en el CME en situaciones normales del mercado, mientras que en situaciones tensas los futuros del MexDer aparentemente tienen una menor volatilidad como se observa en las Tablas siguientes:

**Tabla 4**

*Desempeño de la cobertura aplicando las Métricas VaR y ES tradicionales*

VaR y CVaR ( $\alpha = 90\%, 95\%, 97.5\%$ y $99\%$ ) de los contratos de futuros sobre divisas en México y Chicago (Dólar y Peso Mexicano, respectivamente)									
Posición	Periodo	VaR90	VaR95	VaR97.5	VaR99	CVaR90	CVaR95	CVaR97.5	CVaR99
Mercado Mexicano de Derivados (futuros del dólar)									
DEUA	Ex Ante	63.59	84.62	91.08	87.68	85.92	93.75	89.13	90.67
Corta	Dentro	62.90	70.24	84.34	87.27	82.87	93.50	86.01	87.74
	Ex Post	64.10	82.31	87.83	92.37	82.40	81.56	81.24	84.30
DEUA	Ex Ante	84.61	85.71	92.69	96.41	94.54	92.61	93.99	95.81
Larga	Dentro	80.66	79.53	82.50	91.27	94.33	91.97	87.64	91.19
	Ex Post	76.76	75.95	84.67	94.42	92.98	89.82	90.00	91.81
Chicago Mercantile Exchange (futuros sobre el peso)									
MXP	Ex Ante	83.48	85.89	86.78	95.01	82.25	91.88	90.26	91.88
corta	Dentro	81.58	87.67	84.41	92.06	82.14	90.40	89.22	90.74
	Ex Post	83.92	84.50	86.86	88.61	85.36	82.91	84.59	83.05
MXP	Ex Ante	90.13	87.29	75.32	97.68	86.60	90.37	89.48	92.66
larga	Dentro	84.41	83.09	74.49	79.89	84.45	86.43	86.41	88.07
	Ex Post	86.58	79.75	80.84	77.67	80.55	79.85	85.01	86.47

*Nota:* Elaboración propia con datos de Bloomberg, MexDer y Banco de México aplicando E-Views 10.

**Tabla 5**

*Desempeño de la Cobertura. Métricas VaR y ES bajo enfoque GARCH (VaRG y ESG)*

Métricas VaR y ES bajo el enfoque GARCH: VaRG (VaR-Garch) y ESG (Expected Shortfall-Garch) $\alpha = 90\%, 95\%, 97.5\%$ y $99\%$									
Posición	Periodo	VaRG90%	VaRG95%	VaRG 97.5%	VaRG 99%	ESG 90%	ESG 95%	ESG 97.5%	ESG 99%
MexDer, Mercado Mexicano de Derivados (futuros dólar)									
DEUA	EX ANTE	71.19	74.39	84.59	90.43	86.66	97.78	91.57	92.43
Corto	DENTRO	70.25	76.73	79.73	86.82	85.23	95.48	89.25	91.82
	EX POST	68.49	77.27	90.03	80.87	78.34	97.28	90.27	82.87
DEUA	EX ANTE	74.12	77.33	71.19	78.43	88.72	88.43	93.72	94.43
Largo	DENTRO	69.84	71.19	74.91	81.82	85.28	92.82	91.23	97.28
	EX POST	69.69	80.91	73.96	77.87	77.36	92.87	89.24	95.87
CME, Chicago Mercantile Exchange (futuros peso)									
MXP	EX ANTE	79.53	90.96	75.91	85.52	91.27	93.79	93.41	95.89
Corto	DENTRO	76.26	75.91	68.59	80.37	86.29	91.26	89.35	93.26
	EX POST	71.87	86.01	75.76	90.54	87.19	88.67	96.73	89.87

MXP	EX ANTE	69.91	78.56	72.09	83.88	80.19	86.88	96.47	89.88
Largo	DENTRO	71.64	75.76	74.59	80.29	76.28	95.95	94.31	95.29
	EX POST	68.89	78.09	70.28	80.97	84.21	86.19	86.71	91.97

Nota: Elaboración propia con datos de Bloomberg, MexDer y Banco de México aplicando E-Views 10.

**Tabla 6**

*Liquidez e Interés Abierto. CME y MexDer*

Liquidez e Interés Abierto en CME y MexDer				
Chicago Mercantile Exchange (CME)				
Peso/Dollar Futures				
Periodo	Volumen	Valor Nocional	Interés Abierto	Tasa de Cambio
Ex ante (Oct-Dec, 2016)	7,100,313	172,175,518,270	278,790	0.0485
			(667,896)	
Dentro (Ene-Mar, 2017)	310,000	8,246,654,784	298,003	00.54.96
			(779,388)	
Ex post (Abr-Jun. 2017)	1,759,000	48,691,771,949	328,640	0.05536
			(831,460)	
Suma	9,169,313	229,113,945,003	905,433	
			(2,278,744)	
Mercado Mexicano de Derivados (MexDer)				
Dollar/Peso Futures				
Periodo	Volume	Notional Value	Open Interest	Exchange Rate
Ex ante (Oct-Dec, 2016)	2,600,554	25,538,937,760	2,896,296	20.6194
Dentro (Ene-Mar, 2017)	2,498,514	26,997,745,531	2,560,339	18.7955
Ex post (Abr-Jun. 2017)	2,787,224	29,029,681,662	2,874,961	18.0626
Suma	7,886,292	81,566,364,953	8,331,596	
CME/MexDer	1.63X	2.81X	0.1087	
			-27.35	

Nota: Valadez y Ortiz. (2020)

En la Tabla 5 se observa que, de acuerdo con los resultados obtenidos entre métricas, la mejor métrica de desempeño de la muestra en el MexDer (y en toda la muestra) es la del nivel de confianza ESG del 95% resultando un 97.78%, encontrando que el peor desempeño de la cobertura corresponde al VaRG con 68.49% (ambos en posición corta); esto representa un diferencial de rendimiento del 31%. En el caso del CME, la mejor cobertura se obtiene durante el período ex post (96.73%) para la posición corta (ES al 97.5%), mientras que la peor cobertura se logra durante el mismo subperíodo 68.89% (VaRG al 90%).

A partir de la selección de los tres periodos de análisis o particiones que como se ha mencionado líneas arriba son: Ex-ante, Dentro y Ex-post abarcando los periodos ya definidos, cuyo objetivo es examinar con base en estos tres periodos de tensión o presión monetaria. La Tabla 4 muestra el detalle de dichos periodos.

Sintetizando, se tiene que, la cobertura de tipo de cambio en la Bolsa Mercantil de Chicago muestra un mejor desempeño aplicando el criterio ESG. La evidencia empírica depende de las alfas ( $\alpha$ ) consideradas y de los mercados para determinar cuál de las dos coberturas se debe utilizar. Chicago es más conveniente para cubrir el tipo de cambio en el Mercado Mexicano. Sin embargo, para garantizar predicciones sólidas, ESG debe estimarse con un nivel de confianza del 99%. Las diferencias en las estrategias de cobertura entre ambos mercados son significativas. Estas diferencias pueden atribuirse en parte a la profundidad del mercado, el volumen negociado, el tamaño del contrato y el desempeño del mercado.<sup>6</sup> Es importante señalar que el CME ofrece 46 futuros sobre divisas en 2017 (hoy 48)), mientras que en el MexDer se ofrecen solo futuros sobre el peso/dólar y sobre el peso/euro.

La Tabla 6 muestra como complemento de la Tabla 4, diferencias o asimetrías significativas entre los futuros del MexDer y del CME. Asimismo, en relación con el valor notional, el CME es aún mayor; 2.81 veces el tamaño del Mercado Mexicano. Sin embargo, como nota muy positiva, el interés abierto es mucho mayor en México. Entre paréntesis se encuentra un número hipotético de contratos de interés abierto en Chicago, suponiendo un tamaño igual de contratos (\$10,000 en ambos países) y ajustado al tipo de cambio al final de cada subperiodo. En lo concerniente al volumen, en general el CME es mayor que el MexDer 1.63 veces. Aun así, el mercado mexicano sigue estando por detrás del CME en lo que respecta al interés abierto.

Siguiendo el mismo orden de ideas, se considera que las diferencias podrían ser mayores. Si bien el volumen se mantiene bastante estable en el mercado mexicano, en el mercado de Chicago hubo una gran caída después del primer subperiodo, particularmente del primero al segundo subperiodo, el periodo de mayor volatilidad. Probablemente esto se pueda

---

<sup>6</sup> Ver el análisis de estadísticas básicas de la muestra, Tabla 2.

atribuir a las actitudes de los inversores y a factores institucionales. Como se mencionó anteriormente, el CME es un mercado grande y bien establecido, mientras que el MexDer es un mercado aún en proceso de consolidación y crecimiento. Sintiendo la proximidad de un periodo de turbulencias derivadas de las condiciones económicas desfavorables en México, los coberturistas experimentados en Chicago probablemente ajustaron sus tenencias de futuros dólar/peso migrando a otras monedas. Finalmente, probablemente se produjo una migración al mercado de opciones dólar/peso creado por el CME en 2017. Las diferencias también muestran la presencia de segmentación entre estos dos mercados y la posible existencia de oportunidades de arbitraje, para la validación de cada modelo se aplicó el Backtesting como se muestra en el Anexo.

## **Discusión**

El presente trabajo está alineado a la investigación de Vergara y Maya (2007) sobre modelos GARCH paramétricos y no paramétricos para rendimientos de acciones pertenecientes al mercado colombiano, aplicando el VaR y un modelo GARCH multivariado concluyendo que la modelación de la distribución condicional de retornos corrobora la superioridad de la estimación de estos modelos sobre la matriz de covarianza condicional en la determinación de las ganancias obtenidas.

Por último y no menos importante, se ha alineado al trabajo de Ramírez y Ramírez (2007) el análisis de métricas del VaR aplicadas a las acciones mexicanas, asimismo, el artículo de De Jesús y Ortiz (2012) cuyo trabajo se relaciona con el modelo CVaR o ES en conjunto con la teoría de valores extremos aplicándolos a los índices bursátiles de Brasil y México, mientras que Reyes y Ortíz (2013) utilizan la metodología M-VaRCH (Modelos de Valor en Riesgo y modelos GARCH multivariados) para analizar carteras trinacionales de los países del TLCAN, Canadá, Estados Unidos y México.

Finalmente, la investigación sobre el riesgo asociado al tipo de cambio y las estrategias de cobertura es muy importante, haciendo la consideración de que más allá de la relevancia del VaR y ES, subyacen la relevancia de la volatilidad del tipo de cambio sobre las pérdidas potenciales. La aplicación del modelo GARCH a las métricas VaR y ES ha

mejorado su precisión y aplicabilidad. Con respecto a la cobertura de divisas, la investigación académica se ha concentrado en otros temas de riesgo, como determinar el índice de cobertura óptimo. El uso de modelos de VaR se considera limitado, aunque se han avanzado en modelos altamente sofisticados en relación con los mercados maduros y las economías desarrolladas.

## **Conclusiones**

Este artículo contrasta el desempeño de la cobertura del riesgo de tipo de cambio utilizando dos métricas que se aplican con más frecuencia en finanzas para el caso del peso/dólar negociado en México en MexDer y el dólar/peso negociado en Chicago. Las métricas utilizadas con VaR y ESG aplicándoles un modelo heterocedástico autoregresivo GARCH (1,1).

El VaR como métrica de desempeño, provee resultados inferiores en términos de la mejor cobertura en comparación con los resultados obtenidos con la métrica ESG. Esto sugiere que la dimensión de la efectividad del desempeño de la cobertura corresponde al resultado que se pretende obtener, ya que los resultados están en función de la elección de la métrica de desempeño. El ESG, como una métrica para evaluar el desempeño de la cobertura, es apropiada estadísticamente. Los resultados obtenidos al 99% de confianza son muy rigurosos. Con la salvedad de que los resultados se han determinado para un periodo concreto; los ESG se deberán emplear con cautela, como cualquier otro modelo que se elija y con el apoyo de una extensa investigación.

En el mismo orden de ideas, el contrato de futuros representa un instrumento muy útil para la toma de decisiones sobre riesgo-rendimiento relativas a los negocios, inversiones, actividades corporativas, la formulación de políticas; para cubrirse del riesgo si se tiene un compromiso en moneda extranjera, tanto para las empresas como para los gobiernos. Así como para arbitrajistas resulta muy conveniente.

Asimismo, este estudio resalta la importancia de cuantificar la exposición al riesgo; ya que, no obstante que en el mercado financiero existen diversos instrumentos de cobertura,

los contratos de futuros sobre divisas son la mejor opción para disminuir el riesgo, si se está inmerso en un escenario de alta volatilidad.

Es evidente que se requiere más investigación, en particular para el caso de los mercados emergentes y las monedas expuestas a fuertes patrones de inestabilidad. Sin embargo, en relación con los mercados de derivados en Estados Unidos y México, es preciso investigar más para identificar sus diferencias, promover la integración con los mercados financieros globales, y que sirva para contribuir al desarrollo y al avance del sector financiero en México y otros países.

Es claro que la evidencia empírica da lugar a que se ahonde en las siguientes líneas de investigación: 1. Realizar el análisis bajo estos modelos del comportamiento de la cobertura en dos ventanas de tiempo; la primera de 2018 a 2020 y la segunda de 2020 a 2022 comparando los resultados de estos periodos con el presente estudio, con el fin de tener un referente para favorecer la toma de decisiones, cobertura y arbitraje aprovechando el potencial de esta investigación para favorecer el desarrollo económico de la nación.

## **Referencias**

- Alonso, J., & Arcos, M. (2006). Hechos Estilizados de las Series de Rendimientos: una Ilustración para Colombia. *Journal de Estudios Gerenciales*, 22 (110). Altintas, K. (2011) The dynamics of financial literacy within the framework of personal finance: An analysis among Turkish University Students. *African Journal of Business Management*, Vol 5(26)
- Baillie, R. T. and Myers, R. J. (1991). "Bivariate GARCH Estimation of the Optimal Futures Hedge". *Journal of Applied Econometrics*, 6. 109-124
- Basilea, Comité de Supervisión Bancaria, Bis II. (2006). "Convergencia Internacional de Medidas y Normas de Capital. Marco Revisado". Versión integral
- Bollerslev. T. (1986). "Generalized Autorregresive Conditional Heteroskedasticity". *Journal of Econometrics* 31
- Burns, P. (2002). "The Quality of Value at Risk via Univariate GARCH". Working Paper. Burns Statistics, London

- Brooks, C. and Chong, J. (2001). "The Cross-Currency Hedging Performance of Implied versus Statistical Forecasting Models". *Journal of Futures Markets*, 21, 1043-1069
- Brooks, C., Henry, O. T. and Persaud, G. (2002). "The Effects of Asymmetries on Optimal Hedge Ratios". *Journal of Business*, 75, 333-352
- Choudhry, T. (2003). "Short Run Derivations and Optimal Hedge Ratios". *Journal of Multinational Financial Management*
- Cotter, John & Handy. (2006). *Jim. Reevaluating Hedging Performance. The Journal of Futures Markets*, Vol. 26, No. 7. Wiley Periodicals Inc.
- De Jesús G., Raúl. (2008). "Riesgo y Volatilidad en los Mercados Accionarios Emergentes: Medición del VaR y CVaR Aplicando la Teoría de Valor Extremo". Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. Artículo Doctoral
- De Jesús G., R. and Ortiz C., Edgar (2012). "Risk in Emerging Stock Markets from Brazil and Mexico: Extreme Value Theory and Alternative Value at Risk Models". *Frontiers in Finance and Economics*, 8(2), pp. 49-88
- Dickey and Fuller (1976). "Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root". *Journal of the American Statistical Association*, vol. 74, 1979, pp. 427-431
- Elescano R., Adolfo y Agüero P., Ysela (2004). "Modelos ARCH: Una Aplicación en el Pronóstico de la Volatilidad de Acciones Cotizadas en la Bolsa de Valores de Lima". PESQUIMAT Revista de la Fac CC. MM. de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos Vol. VII. No 1, pág. 64 - 79. Lima - Perú
- Engle, Robert F. (1982). "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the variance of United Kingdom Inflation". *Econometrical*, 1982, vol. 50, issue 4, 987-1007
- Forex, (2020). *Forex trading Academy*. <https://www.forex.com/es-latam/>
- Guo, B. (2003). "Currency Risk Hedging with Time varying Correlations". Santa Cruz, University of California
- Jarque, Carlos M. and Bera, Anil K. (1987) "A Test for Normality of Observations and

- Regression Residuals” *International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique*, Vol. 55, No. 2, pp. 163-172
- Kroner, Kenneth F. and Sultan, Jahangir. (1993). “Multivariate Simultaneous Generalized ARCH with Foreign Currency Futures”. *Revista de Análisis Financiero y Cuantitativo*. Cambridge University Press. Vol. 28 No 4
- Kupiec, P., (1995). “Techniques for Verifying the Accuracy of Risk Measurement Models”. Finance and Economics Discussion Series, Federal Reserve Board, EE.UU.
- Lien, Donald, and Li, Anlong. (2007). “Futures Hedging Under Mark to Market Risk”. *The Journal of Futures Markets*, Vol. 23, No. 4. Wiley Periodicals Inc.
- López Herrera, F. (2006). “Riesgo Sistemático en el Mercado Mexicano de Capitales: Un Caso de Segmentación Parcial”. *Revista Contaduría y Administración*, UNAM, México, 269, pp. 85-113
- Ludlow, J. y B. Mota (2006). “Volatilidad del IPC, Nasdaq y S&P 500: Un Modelo GARCH Multivariado”. *Revista Análisis Económico*, 21, pp. 217-227
- Ortiz, E., Cabello, A. y López H., F. (2007a). “Mercados de Capital Emergentes y Desarrollo e Integración”. *Economía Política del Orden Económico Internacional Emergente*, CLACSO, Argentina
- Park T. H. & Switzer I. N. (1995). “Bivariate GARCH Estimation of the Optimal Hedge Ratios for Stock Index Futures, a Note”. *Journal of Futures Markets*, 15, 61-67
- Reyes Zárate, Francisco J. y Ortiz C., Edgar (2013). “Modelos VAR-GARCH y Portafolios de Inversión Trinacionales en los Mercados Accionarios del TLCAN”. Facultad de Economía y Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM. Nueva Época, REMEF (Mexican Journal of Economics and Finance) IMEF vol. 8, núm. 2, julio-diciembre, 2013, pp. 129-155
- Ramírez, E., y P. Ramírez (2007). “Valor en Riesgo: Modelos Econométricos contra Metodologías Tradicionales”. *Revista Análisis Económico*, 22, pp. 179-198.
- Uryasev S. y R. Rockafellar, (2002). “Conditional Value-at-Risk for General Loss Distributions”. *Journal of Banking and Finance*, 26(7), pp. 1443-1471

Valadez y Ortiz. (2020). “Chicago and Mexico Futures Markets: Asymetries and Hedging”.

Estocástica: Finanzas y Riesgo. Vol. 10, Núm.2, Julio-Diciembre 2020. Pp. 221- 251.

Vergara, M. y Maya, C. (2007). “Monte Carlo Estructurado. Estimación del Valor en Riesgo en un Portafolio Accionario en Colombia”. Administer, Universidad EAFIT, Colombia, 15, pp. 68-88.

## Anexo

### Backtesting

Esta prueba se llevó a cabo para cada partición de la serie de muestras. Las áreas en verde en las Tablas 7, 8, 9 y 10 hacen referencia al número de observaciones que se encuentran en el área de no rechazo según el contraste estadístico realizado basado en la prueba de Kupiec.

Tabla 7				Tabla 8					
Backtesting VaR 95% No hay región de rechazo para el número de observaciones (N) fuera de VaR				Backtesting ES 95% No hay región de rechazo para el número de observaciones (N) fuera de ES					
Número de fallos				Número de fallos					
Futuros Dólar			Zona	Futuros Dólar			Zona		
Dolar US	Ex Ante	2		Dolar US	Ex Ante	4			
Corto	Dentro	1		Corto	Dentro	6			
	Ex Post	2			Ex Post	7			
Dolar US	Ex Ante	3		Dolar US	Ex Ante	5			
	Largo	Dentro	3			Largo	Dentro	3	
	Ex Post	2			Ex Post	7			
Futuros Peso			Zona	Futuros Peso			Zona		
MXP	Ex Ante	4		MXP	Ex Ante	4			
Corto	Dentro	3		Corto	Dentro	3			
	Ex Post	2			Ex Post	5			
MXP	Ex Ante	3		MXP	Ex Ante	5			
Largo	Dentro	3		Largo	Dentro	7			
	Ex Post	2			Ex Post	7			

Nota: Elaboración propia a partir de cálculos en Excel con los datos de la muestra.

Tabla 9				Tabla 10			
Backtesting VarG 95% No hay región de rechazo para el número de observaciones (N) fuera de VarG				Backtesting Expected Shortfall (ESG) 95% No hay región de rechazo para el número de observaciones (N) fuera de ESG			
Numero de fallos				Número de fallos			
Futuros Dólar			Zona	Futuros Dólar			Zona
Dolar US	Ex Ante	2		Dolar US	Ex Ante	4	
Corto	Dentro	1		Corto	Dentro	6	
	Ex Post	2			Ex Post	7	

Dolar US	Ex Ante	3		Dolar US	Ex Ante	5	
Largo	Dentro	3		Largo	Dentro	3	
	Ex Post	2			Ex Post	7	
Futuros Peso				Futuros Peso			
MXP	Ex Ante	4		MXP	Ex Ante	4	
Corto	Dentro	3		Corto	Dentro	3	
	Ex Post	2			Ex Post	5	
MXP	Ex Ante	3		MXP	Ex Ante	5	
Largo	Dentro	3		Largo	Dentro	7	
	Ex Post	2			Ex Post	7	

Nota: Elaboración propia a partir de cálculos en Excel con los datos de la muestra.

Tabla 11			
Criterio de Kupiec			
Región de rechazo de acuerdo con el número de observaciones (N) fuera del VaR			
Nivel de significancia		Días	
		T≤255	T≥1000
0.001	1%	N < 7	4 < N < 17
0.05	5%	6 < N < 21	37 < N < 65
0.1	10%	16 < N < 28	81 < N < 120

Nota: Elaboración propia con información de Kupiec.

Considerando el criterio Kupiec en la Tabla 11, el número de fallos de las estimaciones efectuadas está muy por debajo del número esperado de fallas según los parámetros establecidos por dicha prueba, En consecuencia, la evidencia empírica es estadísticamente sólida. Los modelos aplicados son sólidos y las métricas son las más apropiadas para cubrirse del riesgo cambiario, y se han elegido para períodos de volatilidad ex ante, durante y ex post. La evidencia también es una guía para seleccionar el MexDer o el CME para posiciones cortas y largas. Los resultados favorecen la aplicación de las métricas, así como del modelo ESG Expected Short Fall GARCH con niveles de confianza muy estrictos del 99%.