



# Impacto del COVID-19, del mercado accionario de USA hacia el mercado accionario de México y sus efectos sectoriales. Un análisis vía cópulas elípticas

*COVID-19 impact on the USA stock market towards the Mexican stock market and its sectorial effects. An analysis by elliptical copulas*

David Conaly Martínez Vázquez<sup>1\*</sup>, Christian Bucio Pacheco<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de la Costa, México

<sup>2</sup>Universidad Autónoma del Estado de México, México

Recibido el 1 de agosto de 2021; aceptado el 1 de octubre de 2021

Disponible en Internet el: 6 de octubre de 2021

## Resumen

El objetivo de esta investigación es analizar el grado de contagio en el mercado accionario mexicano y en sus sectores bursátiles debido a los movimientos del mercado accionario estadounidense, antes (agosto 2018 – diciembre 2019) y durante (enero 2020 – agosto 2021) de la crisis originada por la pandemia covid, así como adicionalmente, antes y después de la campaña de vacunación. Se aplican técnicas de correlación tradicional y técnicas de correlación refinadas vía cópulas elípticas. Los resultados muestran que el grado de sensibilidad del mercado accionario estadounidense hacia el mercado accionario mexicano y sus sectores incrementó durante la crisis, aunque se resalta que a partir de la campaña de vacunación dicho grado regresó a niveles similares a los exhibidos antes de la crisis. La originalidad recae en el mecanismo refinado de medición y en la evaluación del grado de respuesta de la campaña de vacunación.

---

\* Autor para correspondencia

Correo electrónico: davidconaly@icloud.com (D. C. Martínez Vázquez).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

<http://dx.doi.org/10.22201/fca.24488410e.2021.3514>

0186- 1042/© 2019 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Contaduría y Administración. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

*Código JEL:* G15, D53, C58

*Palabras clave:* Efecto Contagio; Índices Sectoriales Invertibles; COVID-19; Cópulas

## **Abstract**

The objective of this research is to analyze the degree of contagion in the Mexican stock market and its stock market sectors due to the movements of the U.S.A. stock market prior to (August 2018 to December 2019), and during (January 2020 to August 2021) the crisis caused by the covid pandemic, as well as, before and after the vaccination campaign. Traditional correlation techniques and refined correlation techniques are applied via elliptical copulations. The results are a proof of the sensitivity degree of the U.S.A. stock market towards the Mexican stock market and its incremented sectors through the crisis, although such degree of return to similar levels exhibited in the crisis is highlighted since the vaccination campaign. The originality lies in the refined mechanism of measurement and in the evaluation of the response degree of the vaccination campaign.

*JEL Code:* G15, D53, C58

*Keywords:* Contagion Effect; Invertible Sector Indices; COVID-19; Copulas

---

## **Introducción**

La actual crisis de salud asociada con la pandemia del COVID-19, además de los graves problemas sanitarios y penosos desenvolvimientos en cuanto a fallecimientos ha afectado severamente la actividad económica internacional, conllevando a una crisis global con efectos socioeconómicos negativos particulares para cada país. Esta crisis principalmente se ha manifestado con altas tasas de desempleo, y en general economías con severos desequilibrios y pérdida de eficiencia y disminución en el crecimiento de sus sectores reales y financieros. Ha surgido una caída tanto de la oferta como la demanda, alimentadas por la perenne presencia de la crisis y políticas de aislamiento y combates a los contagios de la enfermedad.

Uno de los sectores más afectados ha sido el sector financiero. Su contribución al desarrollo promoviendo el ahorro e inversión ha sido profundamente afectada. El desempeño de los mercados e instituciones financieras se ha caracterizado por una profunda volatilidad y desligamiento con los sectores productivos. Más aún, los mercados bursátiles se han convertido en espacios de alta especulación no solo desviando gran cantidad de recursos que podrían dedicarse a la inversión, sino también afectando el valor de las empresas e inhibiendo sus proyectos de inversión y además elevando el prohibitivo nivel de los endeudamientos privados y públicos.

La crisis aparentemente comenzó como un riesgo sanitario. Sin embargo, es preciso reconocer que desde 2018, los mercados globales ya presentaban un desempeño irregular de tal forma que el COVID-

19 acentuó dichos problemas, gestando incluso una crisis mayor a la de 1929 (Ortiz et al, 2021; Avelé, 2021). Sus impactos han sido considerados como catastróficos para los mercados y economía global (Chowdhury, 2021). Según reportes oficiales, el Gobierno de China emitió una alerta a la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre una nueva enfermedad que estaba propagándose en la ciudad de Wuhan. Hasta ese momento en los países del occidente tal evento se escuchaba como algo lejano y sin mayores afectaciones. Sin embargo, el 7 de enero del 2020 ya es reconocida como una nueva enfermedad a nivel mundial y un par de semanas después, el 21 de enero de 2020, Estados Unidos registra el primer enfermo de una nueva variante de coronavirus. Casi un mes después, en la capital de México se registra oficialmente el paciente cero, un hombre que regresaba de un viaje en Europa y vivía en el centro del país. Finalmente, el 11 de marzo de 2020 la OMS declara a la propagación de esta enfermedad como pandemia recomendando a todos los países se fortalezcan sus sistemas de salud y en general para los ciudadanos medidas de cuidado e higiene personal. En tanto, los países adoptaron drásticas medidas de contención a la crisis como el aislamiento en los hogares de la ciudadanía y cierres en la actividad económica.

Así, el conjunto de políticas gubernamentales y la rápida y profunda propagación del COVID-19 provocaron nerviosismo e incertidumbre y mayor aversión al riesgo entre los inversionistas (Shear et al, 2021), ocasionando en los mercados bursátiles verdaderos colapsos que al igual que la pandemia conllevó al contagio entre países de las severidades económicas.

Considerando los impactos de la crisis causada por la pandemia COVID-19, la presente investigación tiene como objetivo hacer un análisis propositivo y exploratorio sobre el efecto contagio a la Bolsa Mexicana de Valores y cinco de sus sectores, que abarcan el sector bursátil; por los cambios en el mercado financiero de Estados Unidos representado por el índice S&P 500, tomando en cuenta el contexto en el cual se ha desarrollado la crisis, el resultado de políticas gubernamentales de vacunación y ¿Qué se ha aprendido en función de estas acciones?, es importante puntualizar que los efectos de esta crisis aun no terminan, pero son necesarias propuestas concretas hacia el futuro en función de los pasos que los Gobiernos de ambos países están dando. El contagio y el resultado de las políticas de vacunación se miden examinando los patrones de correlación aplicando tanto las metodologías tradicionales así como la metodología de cópulas elípticas, a través de cuatro periodos de tiempo específicos: pre-crisis (antes de estipulada la pandemia), crisis (estipulada la pandemia), y durante la crisis en dos periodos, uno previo a la vacuna y otro posterior a la vacuna. Lo anterior, debido a que una de las principales contribuciones de esta investigación a la literatura sobre el COVID-19 y su afectación en los mercados financieros, es la evaluación del nivel de sensibilidad o respuesta de los mercados, a las campañas de vacunación y cómo este hecho tiene repercusiones directas en la actividad financiera. Nuestra hipótesis señala que la correlación entre el mercado de valores de Estados Unidos y la Bolsa Mexicana de Valores y sus sectores económicos se ha incrementado a raíz de la crisis del COVID-19. Sin embargo, es relevante identificar en

qué proporción ha sucedido y en específico cuál ha sido el incremento o decremento en la correlación previo y posterior a las campañas de vacunación. Este incremento en la correlación sería un síntoma positivo de integración de estos mercados, particularmente tomando en cuenta que México y Estados Unidos son socios miembros del Tratado regional T-MEC, acuerdo comercial entre México, Estados Unidos y Canadá desde 2018, el cual reemplaza al anterior Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). El 30 de noviembre de 2018, las tres naciones firmaron un nuevo acuerdo para fortalecer su proceso de integración. La justificación del análisis de estos dos mercados se fundamenta en tres aspectos, en primer lugar México tiene alta dependencia en cuanto a sus relaciones comerciales con Estados Unidos (principal socio comercial); en segundo lugar, las campañas de vacunación, que es un elemento clave en esta investigación, iniciaron en ambos países con pocos días de diferencia, y en tercer lugar a lo largo de la pandemia han existido acuerdos bilaterales en ambas naciones sobre el envío de millones de vacunas con el propósito de acelerar las campañas de vacunación.

Cabe aclarar que este trabajo es exploratorio tomando en cuenta que las afectaciones de la pandemia continúan tanto a nivel mundial como local. México y muchos países han comenzado a implementar campañas masivas de vacunación, así como a reabrir las actividades económicas; poco a poco se van gestando cambios hacia una recuperación económica. Sin embargo, volver a la “normalidad” económica y social, por lo menos al nivel económico y de relaciones sociales previas a la crisis llevará algunos años más.

Para el análisis de este fenómeno se han tomado los precios de cierre diarios del índice Standard & Poor's 500, así como del Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) y de los índices sectoriales invertibles de la Bolsa Mexicana de Valores, Telecomunicaciones, Financiero, Consumo, Materiales e Industrial, correspondientes al periodo de 9 de agosto del 2018 al 02 de agosto del 2021. Se determinó analizar los citados índices, debido a que se desea hacer un análisis del nivel de sensibilidad entre mercados (S&P 500 vs IPC) y de cada sector específico de México a los movimientos del mercado en general de USA; esto debido a que se toma en cuenta que Estados Unidos posee el principal mercado de capitales desarrollado y la intención es identificar cómo impacta el devenir de este, en general hacia el mercado mexicano y sus sectores. Se definen cuatro etapas relevantes para el análisis, una previa a la crisis, del 9 de agosto del 2018 al 31 de diciembre del 2019, la segunda en el periodo de crisis del 2 de enero del 2020 al 02 de agosto del 2021, y dentro de esta última se ha segmentado la base en dos para medir el efecto de respuesta a las políticas de vacunación que inició el 14 de diciembre del 2020 en Estados Unidos a la fecha.

Se toma como variable reflejante la sensibilidad de los mercados al fenómeno del COVID-19, al índice S&P 500 con respecto a los índices ya indicados, y se mide el grado de correlación empleando técnicas tradicionales como el coeficiente de correlación de Pearson, el coeficiente de correlación de rango de Kendall (tau de Kendall) y el coeficiente de correlación de rango de Spearman (rho de Spearman) y

estos se comparan tanto con los parámetros de dependencia de las cópulas Normal y t-Student, así como con sus respectivas implementaciones de correlación de rango vía dichas cópulas, complementando además el análisis mediante la estimación de la dependencia de cola también de dichas cópulas propuestas. Las cópulas de la familia elíptica, Normal y t-Student se han elegido debido a que, como se menciona anteriormente, este es un análisis exploratorio de la sensibilidad de los diversos sectores bursátiles a la inestabilidad del mercado de valores de Estados Unidos provocada por la pandemia COVID-19, para la identificación de propuestas de mejora hacia sectores específicos en particular.

El desarrollo del trabajo se ha estructurado de la siguiente forma, posterior a la presente introducción se hace una revisión de la literatura sobre las afectaciones económicas debido al COVID-19 y los principales modelos para medir este fenómeno en diversas economías. La tercera sección muestra la metodología utilizada, en la cuarta sección la evidencia empírica y por último las conclusiones y recomendaciones que se desprenden de la investigación.

## **Revisión de la literatura**

Dentro de la literatura sobre el análisis del impacto económico del COVID-19 en distintos sectores económicos, existen varios trabajos entre los que destacan Bonet et al. (2020), quienes realizan un análisis sectorial y regional acerca de las consecuencias de las políticas de aislamiento determinadas por el Gobierno Colombiano frente a la crisis del COVID-19, utilizan un modelo de insumo-producto, destacando al sector servicios como el más afectado. Prades y Tello (2020), analizan el efecto de las medidas de distanciamiento social adoptadas por el Gobierno en España, así como la aplicación de esas mismas medidas en distintos países de la Zona Euro. Utilizan matrices input-output para analizar los efectos de la pandemia en diversos sectores económicos. Uno de los elementos más relevantes en dicha investigación es el hecho de que el COVID-19 puede tener un impacto heterogéneo en función de las diferencias en la estructura productiva y en las conexiones intersectoriales. Hossain (2021) hace un análisis de los efectos del COVID-19 en la economía colaborativa (alojamiento compartido, viajes compartidos, alimentos elaborados por lugareños, etc.); utiliza diversas publicaciones como artículos de noticias, televisión, videos de YouTube y publicaciones de blogs como fuente de datos para su estudio. Sus hallazgos revelan que aunque el COVID-19 ha afectado todos los sectores a nivel mundial, especialmente ha tenido graves consecuencias en este sector de economía colaborativa.

En el caso del análisis de las afectaciones del COVID-19 en la economía de México, se encuentran los trabajos de Esquivel (2020), quien hace un análisis descriptivo de los efectos de la pandemia en los distintos sectores, así como algunas consideraciones sobre las políticas monetarias y fiscales del país en un contexto de economía emergente. Provencio (2020), hace un análisis exhaustivo de

las diversas políticas monetarias y fiscales del Gobierno de México en un ámbito internacional ante los efectos del COVID-19, así como sus consecuencias por los cambios económicos. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2020) hace un análisis detallado del efecto de la pandemia en la economía de México, señalando el impacto en los grupos más vulnerables, así como las debilidades estructurales de la economía frente a la crisis sanitaria, incremento de pobreza y falta de políticas públicas que atiendan a la población de ingresos medios y bajos. Igualmente, Nájera y Huffman (2020) hacen una estimación de las variaciones de pobreza en el periodo de la pandemia (febrero a último trimestre del 2020), considerando dos niveles de pobreza: pobreza extrema y pobreza evaluadas a partir del nivel de ingresos, con información de encuestas levantadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), mediante modelos jerárquicos bayesianos obteniendo como resultados un incremento generalizado en los niveles de pobreza y pobreza extrema.

En lo que respecta al análisis del efecto del COVID-19 en los mercados de valores se encuentran los trabajos de Alqaralleh, et al. (2020), que analizan seis mercados bursátiles utilizando el enfoque GARCH cópulas, encontrando una fuerte evidencia de contagio durante la pandemia. Dentro de los índices para hacer el análisis utilizan el S&P 500 para Estados Unidos, el S&P/TSX para Canadá, el FTSE100 para Reino Unido, el Nikkei 225 para Japón, el Hang Seng para Hong Kong y Shanghai Share Index para China, considerando el movimiento S&P 500 con respecto a los demás mercados como numeral. Hanif, et al. (2021) analizan la correlación y contagio de los efectos del COVID-19 entre los índices S&P 500 (E.U.A) y CSI 300 (China Securities Index, principal índice bursátil de China), considerando el agregado de los diez sectores que los componen mediante teoría de cópulas y valor en riesgo condicional. Sus hallazgos evidencian que los sectores de energía, finanzas y materiales exhiben una independencia de cola, mientras que los sectores restantes que consideran muestran dependencia de cola (en algunos sectores es la cola superior y en otros la inferior, ya que analizan varias familias de cópulas). Otro resultado interesante es la generación de una tabla de correlación lineal entre los sectores, resaltando que la correlación más alta se encuentra entre los sectores financiero e industrial identificando también los periodos de mayor propagación. Benavides et al. (2021) hacen un análisis sobre la estructura de dependencia en el comportamiento de las tres principales economías de América Latina (Argentina, Brasil y México), mediante cópulas bivariadas Clayton, dentro de los resultados que desarrollan se encuentra la diferencia entre los patrones dependencia, sugiriendo que los mercados de Brasil y México son más dependientes que el argentino. Lyócsa y Molnár (2020) utilizan un modelo autorregresivo para analizar durante el periodo noviembre de 2019 a mayo de 2020 las búsquedas anormales en Google sobre el COVID-19 y la volatilidad realizada, encontrando hallazgos de que el coeficiente autorregresivo fue negativo durante todo el período de estudio y que conforme aumentó la incertidumbre del mercado y a su vez el impacto del virus, también aumentó la magnitud del coeficiente autorregresivo.

Una de las principales contribuciones de la presente investigación a la literatura sobre el COVID-19 y su afectación en los mercados financieros, es que se evalúa el nivel de sensibilidad o respuesta de los mercados a las campañas de vacunación y como este hecho tuvo repercusiones directas en la actividad financiera. Es una realidad que el entorno económico-financiero cambió y posiblemente no vuelva a ser el mismo, hasta dentro de muchos años más. Por esa razón, las medidas o estrategias que los gobiernos utilicen para promover el crecimiento y una eventual recuperación deben ser evaluadas y analizadas a fondo, para considerar su nivel de efectividad, aprender de ellas y dejar un precedente para futuras eventualidades.

Datos oficiales de la Universidad Johns Hopkin<sup>2</sup>, mencionan que antes del inicio de la campaña de vacunación en Estados Unidos el número de muertos era cercano a los 300 000, en México 114 000; a nivel mundial aproximadamente 72 000 000 personas se habían contagiado y se contabilizaban 1 600 000 muertes en todo el mundo.

## Metodología

La justificación metodológica de esta investigación parte de la importancia que tiene medir la correlación y/o dependencia entre variables económicas, financieras y sociales. Además, considerando que las técnicas tradicionales suponen linealidad o determinadas características de las observaciones, que dentro del mundo financiero difícilmente se cumplen. En respuesta a estas limitaciones, el presente trabajo propone la teoría de cópulas para la medición de estos fenómenos, puesto que las técnicas tradicionales subestimarían o sobreestimarían estos fenómenos.

### *Coefficiente de correlación de Pearson*

Este coeficiente se calcula como el cociente de la covarianza de dos variables aleatorias (X, Y), entre el producto de sus desviaciones estándar

$$\rho = \frac{\text{Covarianza}(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

(1)

---

<sup>2</sup> Los datos oficiales se consideraron de <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>, pero cabe aclarar que puede existir divergencia con otras fuentes debido a las estimaciones y exceso de mortalidad.

Donde  $-1 \leq \rho \leq 1$ , entre más cercano este al cero supondría ausencia de correlación lineal, si por el contrario es igual a 1 refleja relación lineal perfecta y -1 una relación inversa entre las variables. El problema en este estadístico es que  $\rho = 0$ , no implica necesariamente independencia, ya que pudiera existir algún otro tipo de relación entre las variables y que este estadístico no lo capture.

### *Coefficiente de correlación por rangos tau ( $\tau$ ) de Kendall*

El estadístico tau ( $\tau$ ) de Kendall, está definido en términos de la concordancia de parejas de variables, donde estas son independientes y deben ser analizadas en escalas ordinales o por intervalo.

$$\tau = \frac{\text{número de pares concordantes} - \text{número de pares discordantes}}{\frac{n(n-1)}{2}} \quad (2)$$

Donde n es el número de pares y  $-1 \leq \tau \leq 1$ .

### *Coefficiente de correlación por rangos rho ( $\rho$ ) de Spearman*

Este estadístico parte de los mismos supuestos que la  $\tau$  de Kendall, y permite el cálculo de correlación entre características de las variables de escala ordinal. Su forma de cálculo es la siguiente.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (\text{Rango}_{xi} - \text{Rango}_{yi})^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3)$$

Donde la rho resultante se encuentra entre -1 y 1.

### *Cópulas*

Como puede apreciarse en párrafos anteriores, existen diversas medidas de correlación, con determinadas características y restricciones sobre el comportamiento que deben tener las observaciones para poder calcular su interrelación. Una limitación considerable es que todas ellas generan únicamente un valor real entre -1 y 1. Una forma alternativa propuesta en esta investigación para medir ese fenómeno es la teoría de Cópulas, la palabra cópula proviene del latín “copulare” que significa unión o conexión, la ventaja de estos modelos es que no solo generan un valor numérico para medir la correlación o dependencia, además

generan toda una estructura de dependencia y no hay limitaciones sobre el comportamiento de las variables (distribuciones marginales) a analizar, es decir, estas pueden presentar o no un comportamiento lineal.

El teorema de Sklar (1959), establece las características para la generación de una función cópula, la cual permite la unión entre variables aleatorias.

### *Teorema de Sklar*

Sea una función de distribución n-dimensional F con distribuciones marginales continuas  $F_1, \dots, F_n$ , existe una única n-cópula,  $C: [0,1]^n \rightarrow [0,1]$ , tal que:

$$F(X_1, \dots, X_n) = C(F_1(X_1), \dots, F_n(X_n)) \quad (4)$$

Por tanto, la función cópula “C”, une las marginales para generar una función de distribución multivariada.

Existen familias de cópulas como la elíptica y la Arquimediana, así como cópulas bivariadas y multivariadas. En esta investigación nos centraremos solo en cópulas elípticas bivariadas como complemento a las medidas tradicionales de correlación para analizar el grado de sensibilidad de respuesta de los diferentes sectores económicos en México a los movimientos del S&P500, y a las características de las series financieras a analizar.

### *Cópulas elípticas*

Esta familia de cópulas lleva ese nombre debido a que las cópulas Normal y t-Student, proceden de distribuciones elípticas, son muy utilizadas en el campo financiero debido a sus características y analizan relaciones de dependencia simétrica. No son aconsejables para análisis de eventos extremos.

### *Cópula normal*

La cópula d-dimensional normal se genera a partir de una distribución Normal estándar multivariada  $\Phi_d$ ,  $N(0, P)$ , con P matriz de correlación.

$$C(u_1, \dots, u_d, P) = \Phi_d[\Phi^{-1}(u_1), \dots, \Phi^{-1}(u_d)] \quad (5)$$

Donde P representa la matriz de correlaciones y  $\Phi^{-1}$  la inversa de la distribución normal univariante estándar.

Para el caso bivariado  $d=2$ , con matriz de correlación  $\rho$ , su densidad es:

$$C(u_1, u_2, P) = \Phi_2[\Phi^{-1}(u_1), \Phi^{-1}(u_2)] = \frac{1}{\sqrt{\det \rho}} \exp\left(-\frac{1}{2} z^t(u)(\rho^{-1} - \text{Id})(z(u))\right) \quad (5.1)$$

$$\text{Con } z^t(u) = \Phi^{-1}(u_1), \Phi^{-1}(u_2) \quad (5.2)$$

Esta cópula queda completamente determinada a partir del conocimiento de  $\rho$ .

### *Cópula t-Student*

En esta cópula, su estructura de correlación está determinada por la distribución t-Student multivariante. Para el caso bivariado, una distribución t-Student 2-dimensional con  $v$  grados de libertad y con matriz de correlación  $\rho$ , la cópula es:

$$C(u_1, u_2) = T_{2,\rho,v}[T_v^{-1}(u_1), T_v^{-1}(u_2)] \quad (6)$$

Con densidad de la cópula t-Student

$$C(u_1, u_2) = \frac{1}{\sqrt{\det \rho}} \frac{\Gamma\left(\frac{v+2}{2}\right) [\Gamma\left(\frac{v}{2}\right)]^{2-1} \prod_{k=1}^n \left(1 + \frac{z_k^2}{v}\right)^{\frac{v+1}{2}}}{\left[\Gamma\left(\frac{v+1}{2}\right)\right]^2 \left(1 + \frac{z^t \rho^{-1} z}{v}\right)^{\frac{v+2}{2}}} \quad (6.1)$$

$$\text{Con } z^t(u) = (T_v^{-1}(u_1), T_v^{-1}(u_2)) \quad (6.2)$$

La determinación de la cópula t-Student depende de dos parámetros, la matriz de correlación  $\rho$  y los grados de libertad  $v$ .

### *Método de pseudo-máxima verosimilitud*

En lo que respecta a esta metodología, se ha obtenido a partir de Hofert, et al. (2019) y Bolancé, et al. (2015). Conociendo las marginales  $F_1, \dots, F_d$ . Se generan pseudo-observaciones  $(\tilde{U}_{i_1}, \tilde{U}_{i_2})$ , y la función a maximizar sería:

$$\theta = \sum_{i=1}^n \ln(U_{i,n}) \quad (7)$$

Es importante mencionar que en este método de estimación de parámetros no se maximiza de manera total la verosimilitud, se hace de forma parcial, de un lado la cópula y por otra parte las marginales y será mediante este método que estimaremos los parámetros en la presente investigación, debido a la practicidad de sus cálculos a diferencia del método de Máxima Verosimilitud y otras formas de estimación de los parámetros.

### *Medidas de correlación por rangos con cópula*

Dada la función cópula bivariada se calcula el coeficiente de correlación de rango tau de Kendall, que es una medida de concordancia y es posible estimarse a partir de la cópula:

$$\tau = 4 \int_0^1 \int_0^1 C_\theta(u_1, u_2) dC_\theta(u_1, u_2) - 1 \quad (8)$$

Asimismo, dada la función cópula bivariada también es posible calcular el coeficiente de correlación de rango rho de Spearman, el cual igualmente es una medida de concordancia:

$$\rho_S = 12 \int_0^1 \int_0^1 u_1, u_2 dC_\theta(u_1, u_2) - 3 \quad (9)$$

La tabla 1 muestra tanto la tau de Kendall como el rho de Spearman de la cópula Normal y de la cópula t-Student. Cabe mencionar, las medidas de correlación de rango tau de Kendall y rho de Spearman, pueden ser utilizadas de igual forma para la familia de cópulas elípticas, por ende la ecuación es la misma para ambas.

Tabla 1

Parámetro, Tau de Kendall y Rho de Spearman de Cópulas Elípticas

Cópula	Parámetro	Tau de Kendall	Rho de Spearman
Normal	$\theta \in [-1,1]$	$\frac{2}{\pi} \arcsin(\theta)$	$\frac{6}{\pi} \arcsin \left[ \frac{\theta}{2} \right]$
t-Student			

Fuente: Elaboración propia

### Bondad de ajuste

Existen pruebas para determinar cuál es la cópula que mejor se ajusta a la distribución de los datos, entre las más utilizadas se encuentran Akaike Information Criterion (AIC) y la Bayesian Information Criterion (BIC). Es importante mencionar que dependiendo el tamaño de la muestra de los datos pueden existir distorsiones en los resultados, por ejemplo como comenta Hofert, et al. (2019) si el tamaño de la muestra es pequeño, es común que todos los modelos de cópulas sean aceptables, y por el contrario, cuando el número de observaciones es grande, puede suceder que todas las familias de cópulas sean rechazadas.

Akaike Information Criterion (AIC)

$$AIC = -2 \ln(\hat{\theta}) + 2k \quad (10)$$

Donde  $\ln$ , max es el logaritmo de la función que maximiza al vector de parámetros y  $k$  es el número total de marginales y parámetros de la cópula Hofert, et al. (2019).

Bayesian Information Criterion (BIC).

Esta es otra medida de bondad de ajuste sí toma en cuenta el tamaño de la muestra a diferencia de AIC.

$$BIC = -2 \log(\hat{\theta}) + k \log(n) \quad (11)$$

Donde  $\log(\hat{\theta})$  es logaritmo de la función que maximiza al vector de parámetros,  $n$  el tamaño de la muestra y  $k$  al igual que en AIC el número de parámetros estimados. En ambos casos, el criterio de selección estará en función del menor valor arrojado por las pruebas.

## *Dependencia de cola*

Un estadístico de relevancia dentro de las cópulas es el de dependencia de cola, ya que este refleja la presencia de eventos extremos, en el caso de la familia elíptica, esta es simétrica. Esta dependencia se define:

Sea  $(X_1, X_2)$ , un vector de v.a. continuas con funciones de distribución marginal  $F$  y  $G$ . Y sea  $u = F(X_1)$ , y  $v = G(X_2)$ .

El coeficiente de dependencia de la cola superior de  $(X_1, X_2)$  es:

$$\lim_{u \rightarrow 1} P\{Y_2 > G^{-1}(u) | Y_1 > F^{-1}(u)\} = \lambda_u \quad (12)$$

El coeficiente de dependencia de la cola superior expresado en términos de una copula bivariada es:

$$\lim_{u \rightarrow 1} \frac{1 - 2u + C(u, u)}{1 - u} = \lambda_u \quad (13)$$

El coeficiente de dependencia de la cola inferior de  $(X_1, X_2)$  es:

$$\lim_{u \rightarrow 0} P\{Y_2 < G^{-1}(u) | Y_1 < F^{-1}(u)\} = \lambda_l \quad (14)$$

El coeficiente de dependencia de la cola inferior expresado en términos de una copula bivariada es:

$$\lim_{u \rightarrow 0} \frac{C(u, u)}{u} = \lambda_l \quad (15)$$

La tabla 2 muestra la dependencia de cola de las cópulas elípticas propuestas, la cópula Normal y la cópula t-Student.

Tabla 2  
 Dependencia de cola

Cópula Normal	Cópula t-Student
$\lambda = 2 \lim_{y \rightarrow \infty} \Phi \left( \frac{y - \theta y}{\sqrt{1 - \theta^2}} \right) = 0$	$\lambda = 2 t_{v+1} \left( - \sqrt{\frac{(v+1)(1-\theta)}{1+\theta}} \right)$

Fuente: Elaboración propia

## Evidencia empírica

Se seleccionaron los precios de cierre diarios del índice Standard & Poor's 500 y de los índices sectoriales invertibles de la Bolsa Mexicana de Valores, que abarcan el sector bursátil en México, del 9 de agosto de 2018 al 02 de agosto del 2021. A partir de los cuales se homogeneizaron los datos, y se calculó el logaritmo natural de los rendimientos de estas observaciones, siendo el primer rendimiento el 10 de agosto del 2018, y el último el 02 de agosto del 2021, con un total de 729 observaciones. Una vez determinado el periodo de análisis, se procedió a segmentar la base, el primer intervalo previo a la crisis fue del 10 de agosto de 2018 al 31 de diciembre de 2019 (periodo determinado pre-crisis). El periodo de crisis comprende del 02 de enero de 2020 al 02 de agosto de 2021; el tercer y cuarto periodo, se desprendieron de ese último, considerando el antes y después del inicio de la campaña de vacunación en E.U.A y México.

Previo a la estimación vía cópulas, se calcularon las estadísticas descriptivas y la correlación por las metodologías tradicionales de los rendimientos de los índices bajo análisis en los periodos propuestos. Las tablas 3 y 4 dan cuenta de ello. A partir de un análisis comparativo de la tabla 3, puede observarse que todas las series presentan un comportamiento disímil al de la distribución normal, y en la mayoría de los casos se tiene asimetría negativa, por lo que el uso de una metodología para medir la correlación entre las series que no considere estas características subestimaría o sobreestimaría la relación entre los rendimientos de los índices. Determinado lo anterior, primero se calculan los coeficientes de correlación mediante las técnicas tradicionales: el coeficiente de correlación de Pearson, el coeficiente de correlación de rango de Kendall y coeficiente de correlación de rango de Spearman.

A través de la tabla 4, en la etapa previa a la crisis, se puede destacar que el sector que mostró mayor correlación con todos los estadísticos con respecto al movimiento del S&P500 fue el sector de materiales, este abarca los ramos de productos químicos, materiales de construcción, empaques y envases, productos de vidrio y plástico, metales y minería, productos madereros y papeleros así como la fabricación y comercialización de materiales, BMV (2015). Al contrario, el sector que mostró menor correlación con el coeficiente de correlación de Pearson fue el de telecomunicaciones; con la Tau de Kendall el sector industrial ( $\tau = 0.2064$ ) con la rho de Spearman el sector Industrial ( $\rho = 0.3014$ ).

Tabla 3  
 Estadísticas Descriptivas del S&P 500, IPC e Índices Sectoriales

Periodo previo a la crisis (10/08/2018 - 31/12/2019)							
	R_S&P500	R_IPC	R_Telc	R_Finan	R_Cons	R_Mats	R_Inds
Media	0.0004	-0.0004	-0.0004	-0.0001	-0.0001	-0.0007	0.0001
Mediana	0.0007	-0.0008	-0.0013	-0.0001	0.0002	-0.0008	0.0004
Desv. Estándar	0.0096	0.0102	0.0138	0.0115	0.0084	0.0102	0.0104
Varianza	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Curtosis	3.8406	4.6432	0.7539	7.8487	2.1247	1.8784	2.4992
Asimetría	-0.4623	-0.6721	0.1243	-1.0413	-0.193	-0.2346	-0.1595
Rango	0.0835	0.0935	0.0894	0.1223	0.0693	0.077	0.0938
Cuenta	340	340	340	340	340	340	340
Periodo de crisis (02/01/2020 - 02/08/2021)							
	R_S&P500	R_IPC	R_Telc	R_Finan	R_Cons	R_Mats	R_Inds
Media	0.0008	0.0004	0.0003	0.0002	0.0004	0.0014	0.0003
Mediana	0.0017	0.0003	-0.0006	0.0002	0.0002	0.0017	0.0012
Desv. Estándar	0.0173	0.0138	0.0174	0.0183	0.0110	0.0133	0.0174
Varianza	0.0003	0.0002	0.0003	0.0003	0.0001	0.0002	0.0003
Curtosis	8.7563	2.6156	3.1230	5.7470	2.3264	3.2132	4.0819
Asimetría	-0.3599	-0.5091	-0.3369	-1.0721	-0.2863	-0.5345	-0.8058
Rango	0.1896	0.1138	0.1395	0.1601	0.0922	0.1193	0.1443
Cuenta	389	389	389	389	389	389	389
Período de crisis previo a la vacunación (02/01/2020 -11/12/2020)							
	R_S&P500	R_IPC	R_Telc	R_Finan	R_Cons	R_Mats	R_Inds
Media	0.0005	0.0000	-0.0003	-0.0004	0.0003	0.0012	-0.0002
Mediana	0.0027	-0.0004	-0.0020	0.0001	-0.0001	0.0007	0.0001
Desv. Estándar	0.0213	0.0160	0.0202	0.0222	0.0127	0.0155	0.0206
Varianza	0.0005	0.0003	0.0004	0.0005	0.0002	0.0002	0.0004
Curtosis	5.5965	1.8933	2.2419	3.6060	1.6759	2.3296	2.8285
Asimetría	-0.2938	-0.4679	-0.3444	-0.9625	-0.2548	-0.5392	-0.7411
Rango	0.1896	0.1138	0.1395	0.1601	0.0922	0.1193	0.1443
Cuenta	233	233	233	233	233	233	233
Período de crisis posterior a la vacunación (14/12/2020 -02/08/2021)							
	R_S&P500	R_IPC	R_Telc	R_Finan	R_Cons	R_Mats	R_Inds
Media	0.0012	0.0010	0.0011	0.0010	0.0007	0.0017	0.0010
Mediana	0.0011	0.0009	0.0005	0.0004	0.0007	0.0020	0.0019
Desv. Estándar	0.0085	0.0096	0.0120	0.0100	0.0079	0.0090	0.0110
Varianza	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Curtosis	1.6571	0.0286	1.1551	1.0929	0.7990	0.2978	0.2092
Asimetría	-0.0529	-0.2114	0.2986	0.1956	-0.2118	0.0531	-0.2480
Rango	0.0557	0.0528	0.0742	0.0629	0.0472	0.0516	0.0611
Cuenta	156	156	156	156	156	156	156

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4  
 Correlación Tradicional del S&P 500, IPC e Índices Sectoriales

Periodo previo a la crisis (10/08/2018- 31/12/2019)			
	Rho de Pearson	Tau de Kendall	Rho de Spearman
R_S&P500 vs R_IPC	0.3673	0.2837	0.4077
R_S&P500 vs R_Telc	0.3050	0.2334	0.3415
R_S&P500 vs R_Finan	0.3298	0.2293	0.3303
R_S&P500 vs R_Cons	0.3073	0.2107	0.3092
R_S&P500 vs R_Mats	0.3885	0.2722	0.3950
R_S&P500 vs R_Inds	0.3148	0.2064	0.3014
Periodo de crisis (02/01/2020-02/08/2021)			
	Rho de Pearson	Tau de Kendall	Rho de Spearman
R_S&P500 vs R_IPC	0.6701	0.3507	0.4917
R_S&P500 vs R_Telc	0.5078	0.2579	0.3713
R_S&P500 vs R_Finan	0.6307	0.3143	0.4431
R_S&P500 vs R_Cons	0.5657	0.2711	0.3902
R_S&P500 vs R_Mats	0.5752	0.3117	0.4400
R_S&P500 vs R_Inds	0.6373	0.3571	0.5033
Período de crisis previo a la vacunación (02/01/2020-11/12/2020)			
	Rho de Pearson	Tau de Kendall	Rho de Spearman
R_S&P500 vs R_IPC	0.7268	0.4304	0.5965
R_S&P500 vs R_Telc	0.5631	0.3334	0.4739
R_S&P500 vs R_Finan	0.6827	0.4026	0.5588
R_S&P500 vs R_Cons	0.6221	0.3603	0.5081
R_S&P500 vs R_Mats	0.6155	0.3610	0.5073
R_S&P500 vs R_Inds	0.6781	0.4131	0.5764
Período de crisis posterior a la vacunación (14/12/2020-02/08/2021)			
	Rho de Pearson	Tau de Kendall	Rho de Spearman
R_S&P500 vs R_IPC	0.3612	0.1906	0.2694
R_S&P500 vs R_Telc	0.1915	0.1093	0.1684
R_S&P500 vs R_Finan	0.2043	0.1403	0.2074
R_S&P500 vs R_Cons	0.2701	0.0913	0.1326
R_S&P500 vs R_Mats	0.3484	0.2243	0.3164
R_S&P500 vs R_Inds	0.3760	0.2350	0.3422

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se observa en la tabla 4, que a partir del análisis estadístico de manera general, hubo un incremento en la correlación del periodo previo a la crisis versus el periodo de crisis, de todos los sectores bursátiles de México con el Índice S&P, medido a través de estos coeficientes. El sector que mostró una mayor correspondencia o relación durante el periodo de crisis es el industrial: con un coeficiente de Pearson de 0.6372 (previo a la crisis 0.31), Tau de Kendall de 0.3570 (previo a la crisis 0.2064) y rho de Spearman de 0.5032 (previo a la crisis 0.3014), seguido de cerca por el Sector Financiero con Pearson de 0.6307 (previo a la crisis 0.3298), Kendall de 0.3142 (previo a la crisis 0.2293) y Spearman de 0.4431 (previo a la crisis 0.3303). Por el contrario, el sector que mostró menor relación durante la etapa de crisis fue el sector telecomunicaciones tuvo un coeficiente de correlación de Pearson de 0.5077 (previo 0.3050), Tau de Kendall de 0.2578 (previo de 0.2334) y rho de Spearman de 0.3713 (anteriormente de 0.3415). Con respecto al periodo previo y ya en vacunación se puede observar que en general en todos los sectores hubo un decremento en términos de las técnicas tradicionales para medir la correlación.

Es importante considerar que el sector industrial abarca los subsectores bienes de equipo, suministros y servicios comerciales, transportes y construcción, BMV (2015). Este sector presentó mayor sensibilidad a los movimientos en los rendimientos del índice S&P 500 durante el periodo de crisis. En particular, se puede deducir que esto se debió a las políticas de aislamiento que provocaron un cierre y disminución de las actividades que estos segmentos de mercado desarrollan como los servicios de aerolíneas, transportes marítimos, terrestres, construcción, etc.

Posteriormente a la estimación de la correlación tradicional, se estima la relación de dependencia (correlación refinada) a partir de las cópulas elípticas propuestas. Cabe enfatizar dicha estimación vía cópulas elípticas se genera como un mecanismo de refinamiento respecto a las metodologías de correlación tradicional en donde se destaca que aparte de los parámetros de rango tradicionales las cópulas cuentan con la dependencia de cola la cual toma en cuenta la relación que se tiene en las colas de las distribuciones marginales de los datos analizados, en este sentido al tratarse cópulas elípticas se tiene la estimación vía la dependencia de cola tomando en cuenta datos simétricos extremos. En la tabla 5, puede observarse que en todos los casos hubo un incremento en cuanto a la correlación entre del periodo previo a la crisis y correspondiente a la crisis, tanto estimando los cambios con la cópula Normal como con la t-Student. Nuevamente, es en el sector industrial donde hubo una mayor sensibilidad ante los cambios los rendimientos del S&P 500. Analizando de manera particular, la cópula que presentó mayor correlación fue la Normal (0.5703) con una verosimilitud de 74.01, y la t-Student de 0.5466, con mayor verosimilitud (77.24) y una dependencia de cola de 0.3407, la mayor de todos los sectores. Por el contrario, el que tuvo menor sensibilidad de respuesta ante los movimientos de S&P 500 durante el periodo de crisis fue el sector Telecomunicaciones, tuvo un parámetro de dependencia de su cópula Normal de 0.4433 con una

verosimilitud de 40.89 y en la t-Student de 0.4041 con un verosimilitud mayor de 46.76, y en este sector durante este periodo la cópula que mejor se ajusta según las pruebas de bondad de ajuste es la t-Student.

Los resultados comprueban la hipótesis planteada en el presente trabajo. Sin embargo, es importante la siguiente observación, la mayor correlación entre los mercados de valores de Estados Unidos y México no puede atribuirse a una profundización de la integración financiera entre estos dos países miembros de dos acuerdos de integración económica desde 1994. Aunque la crisis se acentuó debido a problemas internos, los súbitos cambios en los precios y rendimientos del mercado de valores de Estados Unidos, representados por el Índice S&P, han constituido y son el elemento exógeno cuyo contagio ha acercado los patrones de cambio de la bolsa mexicana a los patrones de comportamiento del mercado de Estados Unidos.

### *Período de vacunación*

Una vez identificado el grado de sensibilidad de los mercados frente a los movimientos del COVID-19, se propone un análisis del efecto de las campañas de vacunación en ambos países, por esta razón se segmenta el período de crisis en dos etapas, antes de la vacunación y después de la misma, esto para poder evaluar cuál ha sido el impacto de esta estrategia vía la identificación del grado de sensibilidad en el mercado accionario mexicano y en particular en los diferentes sectores bursátiles dados los movimientos en el principal índice bursátil estadounidense. Para la etapa de vacunación se ha considerado el 14 de diciembre del 2020, como fecha de inicio de esta campaña, ya que fue ese día cuando se vacunó a la primera persona en E.U.A, y días después se repitió esta acción en México. Cabe destacar, que dicha vacuna solo protege de manera parcial debido a la rápida mutación del COVID-19 que ha conducido a la aparición de diversas variantes.

Tabla 5

Correlación vía Cópulas Elípticas del S&P 500, IPC e Índices Sectoriales

	S&P500 vs	Cópula	Parámetro	LogVer.	AIC	BIC	$\tau$ Kendall	$\rho$ Spearman	Dep. de Cola
Periodo previo a la crisis (10/08/2018 - 31/12/2019)	IPC	Normal	0.4183	31.22	-60.44	-56.61	0.2747	0.4024	0
		t-Student	0.4256	32.86	-61.71	-54.05	0.2799	0.4095	0.1887
	Telc	Normal	0.3402	19.88	-37.77	-33.94	0.2210	0.3265	0
		t-Student	0.3454	20.08	-36.16	-28.50	0.2245	0.3315	0.1636
	Finan	Normal	0.3584	22.24	-42.49	-38.66	0.2334	0.3441	0
		t-Student	0.3557	23.76	-43.51	-35.85	0.2315	0.3415	0.1733
	Cons	Normal	0.3300	18.62	-35.25	-31.42	0.2141	0.3166	0
		t-Student	0.3316	19.10	-34.21	-26.55	0.2152	0.3181	0.1645
	Mats	Normal	0.4137	30.45	-58.90	-55.07	0.2715	0.3979	0
		t-Student	0.4159	31.01	-58.03	-50.37	0.2731	0.4001	0.1979
	Inds	Normal	0.3250	18.03	-34.06	-30.23	0.2107	0.3117	0
		t-Student	0.3244	19.23	-34.46	-26.80	0.2103	0.3112	0.1674
Periodo de crisis (02/01/2020 - 02/08/2021)	S&P500 vs	Cópula	Parámetro	LogVer.	AIC	BIC	$\tau$ Kendall	$\rho$ Spearman	Dep. de Cola
		Normal	0.5836	78.41	-154.82	-150.86	0.3967	0.5655	0
	IPC	t-Student	0.5180	86.58	-169.16	-161.23	0.3466	0.5004	0.3659
		Normal	0.4433	40.89	-79.78	-75.81	0.2924	0.4269	0
	Telc	t-Student	0.4041	46.76	-89.52	-81.59	0.2648	0.3886	0.2575
		Normal	0.5277	61.26	-120.52	-116.56	0.3539	0.5100	0
	Finan	t-Student	0.4757	68.18	-132.36	-124.43	0.3156	0.4587	0.3360
		Normal	0.4836	49.87	-97.75	-93.78	0.3213	0.4664	0
	Cons	t-Student	0.4123	60.10	-116.19	-108.26	0.2705	0.3966	0.2919
		Normal	0.5212	59.48	-116.95	-112.99	0.3490	0.5035	0
	Mats	t-Student	0.4688	67.26	-130.51	-122.58	0.3106	0.4519	0.2980
		Normal	0.5703	74.01	-146.03	-142.07	0.3863	0.5523	0
Inds	t-Student	0.5466	77.24	-150.47	-142.55	0.3682	0.5287	0.3408	
	Cópula	Parámetro	LogVer.	AIC	BIC	$\tau$ Kendall	$\rho$ Spearman	Dep. de Cola	
P. de crisis previo vacunación (02/01/2020 - 11/12/2020)	S&P500 vs	Normal	0.6760	68.23	-134.46	-131.01	0.4726	0.6585	0
		t-Student	0.6517	69.31	-134.62	-127.71	0.4519	0.6339	0.4145
	Telc	Normal	0.5352	37.25	-72.50	-69.05	0.3595	0.5174	0
		t-Student	0.5125	41.52	-79.05	-72.14	0.3426	0.4949	0.2903
	Finan	Normal	0.6322	56.81	-111.61	-108.16	0.4357	0.6142	0
		t-Student	0.6118	58.78	-113.55	-106.65	0.4191	0.5937	0.3762
	Cons	Normal	0.5816	45.76	-89.52	-86.07	0.3951	0.5635	0
		t-Student	0.5486	50.44	-96.89	-89.99	0.3697	0.5307	0.3298
	Mats	Normal	0.5862	46.69	-91.37	-87.92	0.3988	0.5681	0
		t-Student	0.5628	48.04	-92.09	-85.18	0.3806	0.5448	0.3251
	Inds	Normal	0.6367	57.90	-113.79	-110.34	0.4394	0.6188	0
		t-Student	0.6223	59.48	-114.96	-108.06	0.4276	0.6043	0.3724
P. de crisis posterior vacunación (14/12/2020 - 02/08/2021)	S&P500 vs	Normal	0.3327	8.30	-14.60	-11.55	0.2159	0.3192	0
		t-Student	0.2973	12.63	-21.25	-15.15	0.1922	0.2850	0.1861
	Telc	Normal	0.1982	2.80	-3.61	-0.56	0.1270	0.1896	0
		t-Student	0.1946	2.68	-1.37	4.73	0.1247	0.1861	0.1248
	Finan	Normal	0.2234	3.59	-5.17	-2.13	0.1434	0.2138	0
		t-Student	0.2227	3.49	-2.97	3.13	0.1430	0.2131	0.1288
	Cons	Normal	0.2149	3.31	-4.62	-1.57	0.1379	0.2056	0
		t-Student	0.1446	6.30	-8.59	-2.49	0.0924	0.1382	0.1508
	Mats	Normal	0.3583	9.75	-17.49	-14.44	0.2333	0.3440	0
		t-Student	0.3439	12.19	-20.38	-14.28	0.2235	0.3300	0.1808
	Inds	Normal	0.3801	11.10	-20.19	-17.14	0.2482	0.3652	0
		t-Student	0.3791	11.05	-18.10	-12.01	0.2475	0.3642	0.1925

Fuente: Elaboración propia

De esta observación se puede considerar que hubo una disminución de manera general en el nivel de sensibilidad posterior a la vacunación en todos los sectores, si tomamos en cuenta el grado de correlación previo al inicio de la campaña de vacunación y el posterior mostrado tanto en la tabla 4

(correlación tradicional) como en la tabla 5 (correlación vía cópulas elípticas). Un análisis detallado de ambas etapas arroja lo siguiente, los sectores que presentaron mayor sensibilidad a las campañas de vacunación fueron el financiero y el de consumo, comparando tanto la correlación tradicional así como los parámetros de las cópulas y la correlación por rangos vía cópula, la  $\tau$  de Kendall y la  $\rho$  de Spearman.

Para resaltar los resultados obtenidos en la tabla 5 referentes a la correlación vía las cópulas propuestas, se genera una tabla que muestra la sensibilidad vista como la diferencia entre los valores de correlación obtenidos de un periodo contra otro, en este sentido los periodos pre-vacuna y post-vacuna. La importancia de analizar la etapa previa y posterior a la vacunación reside en poder reconocer que en general en todos los sectores hubo cambios significativos en función de las actividades propias de cada uno. La evidencia empírica de estos cambios puede observarse a través de la tabla 6, en donde sobresale la disminución de la dependencia de cola, lo cual representa la poca presencia de eventos extremos. En lo que respecta a la dependencia de cola, el sector financiero tuvo el mayor grado de sensibilidad con una diferencia entre ambos periodos de -0.2473. Por el contrario, el sector material daba las campañas de vacunación fue quien tuvo la menor diferencia en términos de presencia de eventos extremos en las colas con -0.1442764.

Tabla 6  
 Diferencias entre parámetros pre-vacunación y post-vacunación

S&P500 vs	Cópula	Parámetros	$\tau$ Kendall	$\rho$ Spearman	Dep. de Cola
IPC	Normal	-0.3433	-0.2567	-0.3393	0
	t-Student	-0.3544	-0.2597	-0.3489	-0.2283847
Telc	Normal	-0.3370	-0.2325	-0.3278	0
	t-Student	-0.3179	-0.2179	-0.3088	-0.1654306
Finan	Normal	-0.4088	-0.2923	-0.4004	0
	t-Student	-0.3891	-0.2761	-0.3806	-0.2473634
Cons	Normal	-0.3667	-0.2572	-0.3579	0
	t-Student	-0.4040	-0.2773	-0.3925	-0.1789419
Mats	Normal	-0.2279	-0.1655	-0.2241	0
	t-Student	-0.2189	-0.1571	-0.2148	-0.1442764
Inds	Normal	-0.2566	-0.1912	-0.2536	0
	t-Student	-0.2432	-0.1801	-0.2401	-0.179895

Fuente: Elaboración propia

Particularmente se puede observar que los valores de correlación presentados antes de la crisis, ya sea vía la correlación tradicional o la correlación vía cópulas elípticas, son similares a los obtenidos en

el periodo post-vacuna. Sin embargo, se debe enfatizar que esta crisis aún no termina, y continúa el contagio a nivel mundial, lo cual conlleva a que los diversos gobiernos, restrinjan algunas actividades económicas.

Es importante resaltar que este análisis se generó a partir de varias medidas de dependencia, para poder hacer un estudio comparativo y desde diversas perspectivas y poder comprobar el grado de sensibilidad del mercado mexicano ante los movimientos del mercado de valores en Estados Unidos. Así mismo, es importante mencionar que de haber estudiado este fenómeno a través de las técnicas tradicionales habría existido una subestimación de esta susceptibilidad ante los movimientos de S&P 500 debido al COVID-19.

Ante la investigación, queda demostrado que existe una mayor sensibilidad del mercado financiero en México ante movimientos bursátiles en Estados Unidos, particularmente en periodos de inestabilidad y crisis financiera. No obstante, esta crisis ha dejado al descubierto los graves problemas estructurales que se presentan en México y gran parte de América Latina. Montenegro (2020), distingue que América Latina es una de las regiones que se ha visto más afectada debido a la crisis sanitaria por COVID-19, principalmente por la fragilidad financiera de sus economías. No obstante, la crítica situación que se vive debido a la desigualdad y problemas sociales, abre la posibilidad para gobiernos y empresas de reevaluación de sus políticas de comercio, en un contexto de apertura económica, responsabilidad social y es importante que los empresarios consideren las posibilidades de negocios dentro y fuera del país, ya que hablar de normalidad en el ámbito internacional aun tardara mucho tiempo.

En el contexto social, la asimetría de las afectaciones son evidentes, desde el inicio de la pandemia, las clases sociales menos favorecidas son las que se han visto más afectadas. Muestra de ello es que Cota (2020), analiza la caída de la actividad económica en México en el corto plazo mediante modelos de series de tiempo principalmente de la población económicamente activa y una posible recuperación en el primer trimestre del 2021. Pero es el sector informal mexicano quien presenta mayores afectaciones y pérdidas tanto en el aspecto económico como en la salud, Jiménez-Bandala, et al. (2020), determinan que la informalidad laboral es un factor determinante en el incremento de contagios de COVID-19, aunado a esto, millones de empleos se han perdido y el nivel de salarios se ha visto afectado de manera general. Así como la necesidad de trabajadores del sector formal, que han migrado a otras fuentes de ingresos.

## **Conclusiones**

La motivación y pertinencia de la presente investigación radica en cuatro vertientes. En primer lugar, identifica la cambiante correlación entre el mercado de valores de Estados Unidos y la Bolsa Mexicana

de Valores en un estudio exploratorio y propositivo de carácter económico financiero. La crisis sanitaria del COVID-19 produjo severas caídas y volatilidad en los mercados financieros globales, en particular en los mercados de los países desarrollados. Este impacto se contagió a los mercados emergentes. En el caso de estas dos regiones de América del Norte, la correlación se incrementó, reflejando cambios significativos a lo largo de los periodos de estudio. Aún más, en todos los sectores bursátiles mexicanos aumentó, pero el sector más afectado durante el periodo de estudio fue el industrial. En términos financieros, se sugieren estrategias de inversión que incorporen diversificación internacional, activos con menor volatilidad y/o menor sensibilidad a los movimientos del mercado en Estados Unidos. En segundo lugar, la pertinencia de la presente investigación es el proponer y aplicar una metodología diferente a las técnicas tradicionales de medición de la correlación, lo anterior debido a que, en el caso de su uso, se corre el riesgo de subestimar o sobreestimar el grado de interrelación entre los mercados.

Tercero, una vez identificado el sector que tuvo mayores afectaciones se plantean algunas recomendaciones encaminadas a fortalecer el mercado interno de manera gradual, pero es importante resaltar que debe existir una permanente observancia de la respuesta de estas, así como de su completa adaptabilidad económica. Y en función de esto, seguir con ellas o cambiar dependiendo de los resultados. Debe considerarse que tanto para los Gobiernos, así como las empresas debe existir un cambio de ruta, la pandemia ha dejado al descubierto todas las problemáticas que existen en México y América Latina desde hace décadas con respecto a la fragilidad financiera y desequilibrios sociales y económicos. Debe fortalecerse el mercado interno, el comercio internacional, las políticas públicas para la generación de empleos, y de esta forma también incentivar la adquisición de créditos hipotecarios con lo cual se estimularía la construcción, parte importante del sector industrial. Estas medidas deben ser analizadas y aplicadas integralmente, evitando contradicciones que frenen el desarrollo. Un aspecto clave de estas políticas de recuperación se refiere a las tasas de interés y estímulos fiscales a todos los sectores, si bien es cierto que el sector industrial presentó cambios significativos a lo largo del análisis, esta crisis tuvo afectaciones en toda la actividad económica. Se debe fomentar el ahorro en las familias y a su vez la inversión del sector empresarial. Un tema esencial en la recuperación es identificar los aspectos en los que se deben focalizar las finanzas públicas dado el contexto económico y social para estimular una estabilidad económica y crecimiento. De igual manera, se sugiere continuar investigaciones sobre la problemática de la recuperación Post-COVID-19, con el fin de determinar los patrones diferenciados de apoyo a los diferentes sectores económicos y sociales.

Cuarto, como se mencionó a lo largo de la investigación, una de las contribuciones de la presente a la literatura sobre el COVID-19 y sus implicaciones en los mercados financieros, es la evaluación del nivel de sensibilidad o respuesta de los mercados a las campañas de vacunación y las repercusiones directas en los mercados bursátiles. El entorno económico-financiero cambió y posiblemente no vuelva a

ser el mismo, hasta dentro de algunos años más. Por esa razón, las medidas o estrategias que los gobiernos utilicen para promover el crecimiento y una eventual recuperación deben ser evaluadas y analizadas a fondo, para considerar su nivel de efectividad, aprender de ellas y dejar un precedente para futuras eventualidades. La trascendencia de analizar la etapa previa a la vacunación y posterior a la misma radica en poder distinguir que en general en todos los sectores hubo cambios significativos en función de las actividades propias de cada uno. Evidencia empírica de estos cambios pueden observarse en la disminución de la dependencia de cola, lo cual representa la presencia de eventos extremos, y queda señalado en la etapa previa y posterior a la vacunación. Se han propuesto, algunas medidas de saneamiento para la mejora económica gradual, en función de las experiencias obtenidas de este hecho extraordinario, pero se debe puntualizar que esta crisis aún no termina, y continúan tanto a nivel mundial como local el número de contagios y muertes.

En futuras investigaciones se realizará un análisis de eventos extremos, incluyendo otras familias de cópulas. Es igualmente preciso que se desarrollen líneas de investigación de carácter regional tanto internos considerando entidades subnacionales, como externos como lo son aquellos esquemas de colaboración e integración entre varias soberanías como es el caso de varios espacios latinoamericanos. Así mismo, es importante recalcar, como se mencionó en la investigación, este fue un trabajo exploratorio para medir el nivel de sensibilidad de los mercados de Estados Unidos y México, a la pandemia y las campañas de vacunación, en futuras investigaciones se medirán el impacto entre índices sectoriales de EUA y México.

## Referencias

- Alqaralleh, H., Canepa, A., & Zanetti, E. (2020). COVID-19 Pandemic and Stock Market Contagion: A Wavelet-Copula GARCH Approach. Working Paper. Department of Economics and Statistics Cognetti de Martiis, University of Turin. Available at SSRN 3631067. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3631067>
- Avelé, D. (2021). The Financial Crises of 1929 and 2008: What Lessons Learned from the COVID-19 Health Crisis?. <https://doi.org/10.52856/jcr311280113>
- Benavides, D. R., Ríos, C. G., & Herrera, F. L. (2021). Dependencia de los mercados de valores de Argentina, Brasil y México respecto del estadounidense: Covid19 y otras crisis financieras recientes. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF*, 16(3), 652. <https://doi.org/10.21919/remef.v16i3.652>
- Bolancé, C., Guillén, M. y Padilla, A. E. (2015). Estimación del riesgo mediante el ajuste de cópulas. UB Riskcenter Working Paper Series, 2015/01.

- BMV (2015). Catálogo de la estructura de la clasificación sectorial de la BMV, junio.  
<https://www.bmv.com.mx/es/mercados/clasificacion>
- Bonet, J. A., Ricciulli, D., Pérez, G. J., Galvis, L. A., Haddad, E. A., Araújo, I. F., y Perobelli, F. S. (2020). Impacto económico regional del Covid-19 en Colombia: un análisis insumo-producto. Documento de Trabajo sobre Economía Regional y Urbana. No. 288. Banco de la Republica, Colombia, <https://doi.org/10.32468/dtseru.288>
- Chowdhury, E.K., Khan, I.I., and Dhar, B.K (2021). Catastrophic impact of Covid-19 on the global stock markets and economic activities. *Business and Society Review*.  
<https://doi.org/10.1111/basr.12219>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2020). La política social en el contexto de la pandemia por el virus SARS-CoV-2 (COVID-19) en México,  
[https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/IEPSM/Documents/Efectos\\_CO-VID-19.pdf](https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/IEPSM/Documents/Efectos_CO-VID-19.pdf)
- Cota, J. E. M. (2020). COVID-19 y el empleo en México: impacto inicial y pronósticos de corto plazo. *Contaduría y administración*, 65(4), 8. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2020.3028>
- Esquivel, G. (2020). Los impactos económicos de la pandemia en México. *Economía UNAM*, Vol. 17, Núm. 51, pp. 28-44.
- Hanif, W., Mensi, W., & Vo, X. V. (2021). Impacts of COVID-19 outbreak on the spillovers between US and Chinese stock sectors. *Finance Research Letters*, Vol. 40. Article 101922.  
<https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.101922>
- Hofert, M., Kojadinovic, I., Mächler, M., & Yan, J. (2019). *Elements of copula modeling with R*. Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-89635-9>
- Hossain, M. (2021). The effect of the Covid-19 on sharing economy activities. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124782. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124782>
- Jiménez-Bandala, C., Peralta, J., Sánchez, E., Márquez Olvera, I., & Arellano Aceves, D. (2020). La situación del mercado laboral en México antes y durante la COVID-19. *Revista Internacional De Salarios Dignos*, 2(2), 1-14. Recuperado a partir de <http://revistasinvestigacion.lasalle.mx/index.php/OISAD/article/view/2893>
- Lýócsa, Š. & Molnár, P. (2020). Stock market oscillations during the corona crash: The role of fear and uncertainty. *Finance Research Letters*, Vol. 36, Article 101707.  
<https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101707>
- Montenegro, Y. A. (2020). El comercio internacional y la crisis del COVID-19: una mirada a Latinoamérica. *Hojas de El Bosque*, 7(11). <https://doi.org/10.18270/heb.v7i11.3007>

- Nájera, H. y Huffman, C. (2020). Estimación del costo de eliminar la pobreza extrema por ingreso en México, en tiempos del COVID, PUED-UNAM, julio.  
<http://www.pued.unam.mx/export/sites/default/archivos/covid/DocTecnico.pdf>
- Ortiz, E., Cabello, A. y Sosa, M. (2021). Financiarización y consumismo: multipolarismos y crisis Covid-19. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, Vol. 66, Núm. 42, pp. 345-372.  
<https://doi.org/10.22201/fcpys.2448492xe.2021.242.76139>
- Prades, E., y Tello, P. (2020). Heterogeneidad en el impacto económico del COVID-19 entre regiones y países del área del Euro. *Boletín económico*. No. 2. Banco de España.
- Provencio, E. (2020). Política económica y Covid-19 en México en 2020. *Economía UNAM*, Vol. 17, Núm. 51, pp. 263-281. <https://doi.org/10.22201/fe.24488143e.2020.51.563>
- Shear, F., Ashraf, B.N., y Sadaqat, M. (2021). Are Investors' Attention and Uncertainty Aversion the Risk Factors for Stock Markets? International Evidence from the COVID-19 Crisis. *Risks*, 9: 2 (15 p.). <https://doi.org/10.3390/risks9010002>
- Sklar, A. (1959) *Fonctions de Répartition à n Dimensions et Leurs Marges*. *Publications de l'Institut Statistique de l'Université de Paris*, 8, 229-231.