



Artículo de investigación

Medición de la compensación del riesgo en el mercado de criptomonedas

Andrés Caicedo Carrero¹ , Jorge Alexander Cortés Cortés² , Wilmar Arnulfo Bravo Murillo³  y Myriam Aydee Moreno Garzón⁴ 

¹ Magíster en Finanzas. Docente investigador, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá, D. C., Colombia (autor de correspondencia). Correo electrónico: oandrescaicedo@gmail.com

² Magíster en Educación. Docente investigador, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá, D. C., Colombia. Correo electrónico: jalexandercortes@unicolmayor.edu.co

³ Magíster en Gestión de las Organizaciones. Docente investigador, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá, D. C., Colombia. Correo electrónico: wbravo@unicolmayor.edu.co

⁴ Magíster en Recursos Humanos. Docente investigador, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bogotá, D. C., Colombia. Correo electrónico: myriam.moreno@uniminuto.edu

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 5 de marzo de 2024

Aceptado: 17 de septiembre de 2024

Online: 15 de enero de 2025

Códigos JEL:

G11, G12, G29, O39

Palabras clave:

Criptomonedas,
Alpha de Jensen,
Capital Assets Price Model,
riesgo sistemático,
inversión,
volatilidad.

Keywords:

Cryptocurrencies,
Jensen's Alpha,
Capital Asset Pricing Model,
systematic risk,
investment, volatility.

RESUMEN

Introducción/objetivo: este estudio analiza el rendimiento ajustado al riesgo de las criptomonedas más populares en comparación con el índice S&P 500, utilizando el Alpha de Jensen para evaluar si estas superan el rendimiento ajustado por riesgo en el periodo 2019-2023.

Objetivo: examinar el rendimiento ajustado al riesgo de Bitcoin, Ethereum, Tether y Binance frente al S&P 500, determinando su capacidad para superar el mercado mediante el Alpha de Jensen.

Metodología: se empleó un enfoque cuantitativo descriptivo, calculando rendimientos logarítmicos diarios, estimando el beta de las criptomonedas, aplicando el modelo CAPM para rentabilidades ajustadas por riesgo y utilizando el Alpha de Jensen para evaluar la compensación del riesgo.

Resultados: las criptomonedas presentaron mayor volatilidad y rendimientos extremos en comparación con el S&P 500, mostrando diferencias significativas en su capacidad para compensar el riesgo.

Conclusiones: a pesar de su alta volatilidad, Ethereum y Binance lograron compensar el riesgo de manera adecuada, mientras que Bitcoin evidenció una capacidad menos consistente y Tether no logró compensarlo. Estos resultados subrayan la importancia de estrategias de inversión adaptativas en el dinámico mercado de criptomonedas.

Measuring risk compensation in the cryptocurrency market

ABSTRACT

Introduction: this study analyzed the risk-adjusted performance of the most popular cryptocurrencies compared to the S&P 500 index, using Jensen's Alpha to determine whether these assets outperformed on a risk-adjusted basis during the 2019–2023 period.

Objective: the research aimed to evaluate the risk-adjusted performance of Bitcoin, Ethereum, Tether, and Binance relative to the S&P 500, assessing their ability to outperform the market using Jensen's Alpha.

Methodology: the study employed a quantitative descriptive approach by calculating daily logarithmic returns, estimating the Beta of cryptocurrencies, applying the CAPM model for risk-adjusted returns, and utilizing Jensen's Alpha to measure risk compensation.

Results: the findings revealed that cryptocurrencies exhibited higher volatility and extreme returns compared to the S&P 500, with significant differences in their ability to compensate for risk.

Conclusions: despite their high volatility, Ethereum and Binance successfully compensated for risk, while Bitcoin displayed less consistent performance, and Tether failed to provide adequate risk compensation. These findings underscore the importance of adaptive investment strategies in the dynamic cryptocurrency market.

Introducción

La génesis de las criptomonedas se remonta al nacimiento del Bitcoin, a través de la publicación del artículo de Nakamoto (2008). En la investigación, el autor propone un sistema de efectivo electrónico descentralizado. La creación del Bitcoin marcó el inicio de las criptomonedas, revolucionando el concepto de dinero y abriendo el camino para el desarrollo de nuevas tecnologías financieras. Este nuevo instrumento permite hacer transacciones en línea entre las partes sin pasar por una institución financiera, resolviendo el problema del doble gasto mediante el uso de una red de consenso distribuido, conocida como *blockchain* (Berentsen & Schär, 2018).

La tecnología *blockchain*, inicialmente lanzada como el soporte para Bitcoin, ha evolucionado y ha encontrado aplicaciones más allá de las finanzas. Esta expansión abarca sectores como el Gobierno, la salud, la cadena de suministros y la agricultura, aprovechando su capacidad para ofrecer transacciones seguras, transparentes y descentralizadas. La adaptabilidad que ofrece resalta su potencial disruptivo, además de demostrar cómo puede facilitar operaciones más eficientes, transparentes y seguras en varias industrias (Goundar, 2021).

En el desarrollo del mercado de las criptomonedas, el papel de los intermediarios es una paradoja, dada la naturaleza descentralizada propuesta en sus inicios. Estos intermediarios son fundamentales para facilitar el acceso y la liquidez del mercado, actuando como puentes entre el mundo tradicional de las finanzas y el emergente sector de las criptomonedas. Su papel ha sido crucial para la adopción masiva, aunque también ha reintroducido puntos de vulnerabilidad y dependencia que el diseño descentralizado de las criptomonedas buscaba evitar (Bank for International Settlements, 2023).

Reflejando las inquietudes de Gerba y Rubio (2019) sobre la alta volatilidad de las criptomonedas y sus dudas respecto a su función como reserva de valor, junto a los efectos inten-

sificados de esta inestabilidad durante la crisis económica del 2022 que describen Przyłuska-Schmitt et al. (2023), se debe reconocer que la fluctuación impredecible en los precios de las criptomonedas se debe a diferentes factores. Estos incluyen variaciones en la demanda de los inversores, influenciadas por el sentimiento del mercado según Koutmos (2023), así como cambios en la regulación y avances en la tecnología de *blockchain*; también, el factor apalancamiento de los inversionistas es otra variable para tener en cuenta, de acuerdo con el estudio de Brini y Lenz (2024). Estos elementos no solo alimentan la especulación del mercado, sino que también responden a los cambios económicos globales y al progreso tecnológico, lo que resalta la complejidad y dinamismo del mercado de criptomonedas (Liu & Serletis, 2019).

La volatilidad del mercado de criptomonedas se ha convertido en un área de estudio destacada, explorada a través de varios enfoques metodológicos que iluminan diferentes aspectos de este fenómeno. Zhou (2024) señala que tanto las características monetarias como las de inversión de las criptomonedas influyen en la estabilidad de los mercados financieros tradicionales. Joseph et al. (2024) utilizaron modelos econométricos y análisis de series temporales para identificar correlaciones de volatilidad y efectos de contagio entre criptomonedas y mercados tradicionales, y examinaron cómo los retornos afectan la estabilidad financiera. Complementando este enfoque, Kufo et al. (2024) aplican modelos GARCH para analizar de qué manera factores como el volumen de negociación, el interés informativo, los retornos del mercado de valores y las tasas de cambio afectan la volatilidad de las criptomonedas. En la misma línea, Sherif et al. (2024) argumentan que los métodos tradicionales de evaluación de riesgos, como el VaR y ARIMA-GARCH, son insuficientes para predecir con precisión la volatilidad del Bitcoin, y resaltan la necesidad de modelos alternativos que capturen mejor su naturaleza especulativa y autocorrelación.

Por último, Ngoc Nguyen et al. (2023) avanzan en esta comprensión al investigar la conexión entre diferentes capitalizaciones de mercado mediante métodos basados en gráficos, aplicando técnicas alternativas para extraer co-

nocimientos de las series de tiempo. Estos estudios proporcionan diferentes puntos de vista sobre la medición de la volatilidad, desde la interacción con mercados financieros tradicionales hasta el análisis detallado de eventos y la dinámica de la red de capitalización de mercado.

Según Isaac Roque et al. (2023) y Sa'diyah et al. (2024), la alfabetización financiera y la tolerancia al riesgo son factores clave en las decisiones de inversión. Dada la volatilidad del mercado de criptomonedas, es relevante expandir estos estudios para incluir un análisis de la relación entre riesgo y rentabilidad. Esto permitiría determinar si las potenciales ganancias en criptomonedas compensan los riesgos a los que se enfrentan los inversores en estos mercados.

Marco teórico

La percepción del riesgo se convirtió en un pilar de la toma de decisiones financieras (Isaac-Roque & Caicedo-Carrero, 2023). Esto se logró mediante el desarrollo de modelos teóricos que cuantifican el riesgo y establecen una relación directa con el retorno esperado (Modigliani & Pogue, 1973). El riesgo, en su estimación básica, se establece a través de la desviación estándar. Esta métrica cuantifica la dispersión de los retornos de una inversión alrededor de su media, y proporciona una base cuantitativa para comparar el riesgo entre diferentes activos financieros. Al utilizarla, los inversores y analistas pueden evaluar la exposición asociada a cada inversión, lo que facilita la toma de decisiones informadas sobre la composición de sus portafolios (Malkiel, 1982).

En el análisis de riesgos financieros, se debe diferenciar entre el riesgo sistemático, que afecta al mercado en su totalidad, del riesgo no sistemático, que es específico a un activo financiero. El primero, es un riesgo no mitigable, mientras que el segundo se puede mitigar a través de la diversificación. Wagdi y Tarek (2019) destacan cómo el riesgo financiero contribuye al riesgo sistemático, dado que las variaciones en las condiciones financieras de un emisor alteran su sensibilidad a los movimientos de mercado. En este contexto, de acuerdo con Isaac Roque y Caicedo Carrero (2021), el riesgo sistemático se evalúa mediante el coeficiente beta, que mide la sensibilidad de los precios de los activos financieros ante cambios en el mercado global. Un beta alto indica una mayor volatilidad con respecto al mercado, por efecto de los cambios en políticas económicas, tasas de interés y eventos geopolíticos, según lo documentado por Fahmi et al. (2017). Por otra parte, el riesgo no sistemático o idiosincrático, se centra en riesgos característicos de cada activo, como la gestión empresarial, la posición competitiva, entre otros (Motorina, 2021). Esta diferenciación entre riesgos recalca la importancia de diseñar estrategias de inversión que consideren el impacto de estos riesgos en las carteras financieras.

Tras establecer la distinción entre el riesgo sistemático y el riesgo no sistemático, es importante evaluar cómo estos impactan las decisiones de inversión. Esta evaluación prepara el terreno para la adopción de un marco teórico que permita cuantificar estos riesgos. En este contexto, el desarrollo del *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) representa un avance en la teoría financiera, como una herramienta para

la estimación del costo de capital y la evaluación del rendimiento de las inversiones ajustadas por el riesgo. Al vincular el retorno esperado de un activo con su riesgo sistemático, a través del coeficiente beta, este modelo ofrece una perspectiva para justificar las expectativas de rendimiento en relación con el nivel de riesgo asumido, marcando un hito en la comprensión y aplicación de los principios financieros (Fama & French, 2004).

El modelo CAPM se desarrolló a partir del modelo de cartera de Harry Markowitz, ampliando sus principios al incluir la idea de un mercado eficiente y la existencia de una tasa de interés libre de riesgo¹. El CAPM presupone que los inversores son aversos al riesgo, prefieren mayores retornos a menores, toman sus decisiones de inversión basados en el retorno esperado y la varianza o desviación estándar del retorno, buscando maximizar el rendimiento de sus carteras. Además, el modelo asume mercados perfectos sin costos de transacción ni impuestos, y que todos los activos son infinitamente divisibles (Elbannan, 2015).

El beta permite medir la sensibilidad de los retornos de un activo frente a los movimientos del mercado. Este actúa como un indicador del riesgo sistemático asociado a un activo individual en relación con el mercado en general. Esto es importante en la estimación del CAPM, ya que el modelo utiliza el beta para predecir el retorno esperado de un activo, basándose en su nivel de riesgo en comparación con el mercado. La relevancia del beta reside en su capacidad para ayudar a los inversores a comprender y gestionar el riesgo de sus carteras, ajustando sus expectativas de retorno en función de la volatilidad del mercado (Czekierda, 2007).

El CAPM se destaca por su simplicidad y eficacia, ofrece un enfoque directo para la valoración de activos financieros. Su singularidad radica en la utilización de un solo factor para determinar el rendimiento esperado de un activo, ajustado por el riesgo de mercado. Esto evita la necesidad de hacer suposiciones complejas o arbitrarias sobre el crecimiento de dividendos, facilitando su aplicación en una amplia gama de escenarios financieros sin comprometer la precisión en la evaluación del rendimiento ajustado por riesgo (Li, 2023).

Una de las críticas más recibidas al modelo CAPM, es la existencia de mercados perfectos y el comportamiento racional de los inversores. Estas condiciones raramente se encuentran en la práctica. Esta suposición pone en evidencia la diferencia que existe entre la teoría del CAPM y la realidad de los mercados financieros, donde las imperfecciones del mercado y el comportamiento irracional de los inversores distorsionan los resultados predichos por el modelo, cuestionando así su efectividad y aplicabilidad universal tal y como lo documenta Chen et al. (2022).

En respuesta a las limitaciones del modelo CAPM, identificadas por la presencia de mercados imperfectos y el comportamiento no siempre racional de los inversores, como lo subrayan Chen et al. (2022), el Alpha de Jensen surge como una herramienta crítica para medir el rendimiento superior de las carteras de inversión más allá de lo que el CAPM predice. Desarrollado por Jensen (1967), el Alpha busca evaluar

1 Teniendo en cuenta que en finanzas existen varios tipos de riesgos. Por simplicidad, cuando se habla de la tasa libre de riesgo, se hace referencia al riesgo de impago.

si los gestores de fondos pueden, de manera consistente, crear valor para los inversores ajustando el rendimiento por el riesgo de mercado, desafiando así la noción de eficiencia y racionalidad completa del mercado que subyace al CAPM. Este enfoque proporciona una perspectiva sobre la capacidad de gestión de inversiones en un entorno donde las imperfecciones del mercado y las desviaciones del comportamiento racional son la norma, no la excepción (Du, 2015).

El Alpha de Jensen, tal como lo identifica Farooq (2020), se define como la diferencia entre los retornos reales de un activo financiero y los esperados según el CAPM, sirviendo así como una métrica del exceso de rendimiento ajustado por el riesgo. Esta herramienta evalúa la capacidad de un gestor de inversiones de superar el mercado, ofreciendo una evaluación de su habilidad para crear valor adicional.

En el ámbito de los mercados ineficientes, el Alpha de Jensen adquiere una relevancia particular, ya que, según Phuoc (2018), facilita la evaluación de los gestores de fondos en su capacidad de generar rendimientos superiores ajustados al riesgo, al margen de las variaciones del mercado y en situaciones donde la información no se incorpora de inmediato en los precios de las acciones. Esta capacidad de destacar el rendimiento que excede las predicciones del CAPM, resalta la competencia del administrador para identificar y explotar oportunidades de inversión no reconocidas por el mercado.

Además, como señala Auke (2007), el Alpha de Jensen actúa como una herramienta para medir el rendimiento de las inversiones, permitiendo comparar el rendimiento de una cartera con su punto de referencia y ajustando los retornos por el riesgo de mercado. Esto proporciona una visión crítica sobre la efectividad de las estrategias de inversión implementadas, lo cual es importante para evaluar si la gestión activa ha logrado superar al mercado y justificar las decisiones de inversión y la selección de activos en la cartera, tal y como lo documentó Doncel et al. (2008).

Mientras que el Alpha de Jensen es una herramienta para evaluar la habilidad de los gestores de fondos para superar el mercado, otro aspecto que afecta a la inversión y la gestión de carteras es el marco regulatorio en el que operan estos mercados. En particular, la industria de las criptomonedas presenta un contraste significativo en términos de regulación comparado con los mercados financieros tradicionales. La ausencia de lineamientos plantea desafíos únicos para los inversores en criptomonedas, amplificando los riesgos transaccionales y exponiendo a los participantes a una gama de riesgos que no se encuentran comúnmente en mercados más regulados y estructurados. Este entorno no regulado, caracterizado por la incertidumbre regulatoria y la dependencia de operadores no regulados, aumenta la vulnerabilidad a la manipulación del mercado, fraudes y delitos cibernéticos (Willis Towers Watson, 2019).

En particular, el Bitcoin, como instrumento de inversión, es una de las alternativas más riesgosas que existe. Si bien los retornos promedio son altos, estos vienen acompañados de una desviación estándar elevada, indicativo de su alta volatilidad. Esto refleja un nivel de riesgo mayor, en comparación con instrumentos de inversión más tradicionales, como acciones y oro, reflejando así la naturaleza especulativa y las fluctuaciones extremas en el valor de Bitcoin (Dasman, 2021).

Sin embargo, With et al. (2024) tienen una opinión diferente, puesto que en su investigación establecieron que invertir únicamente en Bitcoin puede ser tan efectivo como estrategias de inversión pasivas que diversifican entre las principales criptomonedas, al no mostrar diferencias significativas en retorno o riesgo, pero con menores costos asociados.

La volatilidad de las criptomonedas refleja la sensibilidad de los precios de estas a fluctuaciones del mercado, noticias y eventos regulatorios, lo que complica su uso como medio de intercambio o reserva de valor. En este sentido, Kapoor y Ahuja (2024) consideran que el uso del aprendizaje automático mejora la evaluación de riesgos financieros en este tipo de activos. U otra alternativa, para mitigar la volatilidad, es la incorporación de las *stablecoins* en las carteras de inversión, las cuales buscan anclar su valor a activos estables; sin embargo, también enfrentan desafíos operacionales y regulatorios que ponen en duda su capacidad para mantener dicha estabilidad en todas las condiciones de mercado (Hacibedel & Pérez-Saiz, 2023).

El riesgo de reclasificación de *tokens* es otro desafío para el mercado de criptomonedas. Este surge cuando los *tokens*, inicialmente emitidos o vendidos como productos no regulados, podrían ser clasificados retroactivamente como valores por los organismos reguladores. Tal cambio implicaría la aplicación de regulaciones financieras estrictas, lo que podría exponer a las entidades involucradas a posibles sanciones penales y responsabilidades civiles, afectando su operatividad y reputación en el mercado (Cloots, 2018).

Si bien el mercado de las criptomonedas ha tenido un desarrollo acelerado, aún le queda algunos desafíos en cuanto a la clasificación legal y su regulación. Es importante establecer un marco regulatorio claro que pueda adaptarse a la naturaleza única y en rápida evolución de estos activos. Estos retos incluyen la dificultad de encajar los cryptoactivos dentro de las categorías legales existentes, la implementación de medidas de supervisión efectivas, y la coordinación internacional para abordar la naturaleza descentralizada y transfronteriza de las criptomonedas (Bains et al., 2022).

Metodología

Datos

Para este estudio, se seleccionaron los datos del Standard & Poors 500 obtenidos de Yahoo Finance (2024) y datos de criptomonedas de Bitcoin, Ethereum, Tether y Binance, extraídos de CoinMarketCap (2024). Los datos del S&P 500, considerados un indicador del mercado bursátil estadounidense, abarcan el periodo del 1 de enero de 2019 al 31 de diciembre de 2023. Los datos de criptomonedas, seleccionados por su capitalización de mercado (superior a los USD 10 millones), se recogieron en el mismo periodo, asegurando la comparabilidad temporal y la relevancia económica.

La selección de estos datos y el periodo de estudio se basaron en la accesibilidad y confiabilidad de las fuentes mencionadas, ambas reconocidas por su actualización constante. Se utilizó una metodología de recopilación consistente, accediendo a los datos diarios a través de las API propor-

nadas por Yahoo Finance y CoinMarketCap, lo cual garantiza la integridad y la consistencia del conjunto de datos.

Los instrumentos de recopilación se evaluaron en términos de validez y fiabilidad. Se verificó la validez mediante la comparación de muestras de datos con otros registros del mercado, y la fiabilidad se estableció a través de pruebas repetidas de extracción de datos en diferentes momentos para asegurar la consistencia de la información recogida.

Los criterios de inclusión de las criptomonedas se centraron en la capitalización de mercado, seleccionando aquellas cuya influencia en el mercado global es significativa. Se excluyeron las criptomonedas con una capitalización inferior a los USD 10 millones por su menor impacto en el análisis macroeconómico.

Tipo, alcance y diseño

Este estudio adoptó un enfoque cuantitativo con un diseño descriptivo, centrado en la evaluación de la rentabilidad ajustada por riesgo de las criptomonedas en comparación con el Índice S&P 500. Se optó por el enfoque cuantitativo debido a la necesidad de procesar y analizar datos numéricos específicos, como los rendimientos logarítmicos diarios y los coeficientes beta de las criptomonedas. El alcance descriptivo del estudio se justifica por el objetivo de describir las características financieras observadas, sin influir en el entorno de estudio ni manipular variables.

En cuanto al diseño específico, la investigación no es experimental, ya que se basa en el análisis de datos históricos existentes sin la manipulación de variables o condiciones controladas. Se utilizaron técnicas estadísticas consolidadas dentro del campo financiero: el Modelo de Valoración de Activos de Capital (CAPM, por sus siglas en inglés) para calcular rentabilidades ajustadas por riesgo, y el Alpha de Jensen para evaluar si las rentabilidades de las criptomonedas compensan el riesgo asumido. Esto proporciona una base para analizar las inferencias estadísticas sobre el comportamiento del mercado. Este diseño permite evaluar el rendimiento de las criptomonedas en comparación con un índice de referencia. De esta forma, contribuye al cuerpo de conocimiento en la evaluación financiera de activos digitales.

Procedimiento

Para asegurar la replicabilidad de este estudio, se proporciona una descripción del procedimiento adoptado. El análisis inició con el cálculo del rendimiento diario de las criptomonedas bajo estudio, aplicando logaritmos para sumar directamente los rendimientos, como sugiere Forero Laverde (2011). Para ello, se utilizó la fórmula que aparece a continuación para obtener el retorno diario r_{ty} . Ecuación (1):

$$r_{ty} = \ln\left(\frac{P_{ty}}{P_{t-1y}}\right) \quad (1)$$

Donde:

r_{ty} = retorno diario de la criptomoneda γ .

P_{ty} = precio actual de la criptomoneda γ .

P_{t-1y} = precio del día anterior de la criptomoneda γ .

Una vez obtenido el retorno diario de la criptomoneda, se procede a anualizar el rendimiento² a través de la ecuación (2):

$$r_{\gamma}^a = \left(1 + \sum_{t=1}^T \frac{r_{ty}}{T}\right)^{250} - 1 \quad (2)$$

Donde:

r_{γ}^a = retorno anualizado de la criptomoneda γ .

r_{ty} = retorno diario de la criptomoneda γ .

T = número de observaciones γ .

El segundo paso consistió en calcular el beta de cada criptomoneda, el cual se calculó a través de la relación entre la covarianza del retorno de la criptomoneda con el retorno del mercado y la varianza del retorno del mercado. Previamente se estableció que el Índice *Standard & Poors 500* actuará como representante del mercado. Este enfoque facilitó la comparación del desempeño de las criptomonedas con dicho índice para determinar su nivel de riesgo relativo. En consecuencia, se determinó el beta de cada criptomoneda aplicando la ecuación (3):

$$\beta_{\gamma} = \frac{Cov(r_m, r_{\gamma})}{\sigma_m^2} \quad (3)$$

Donde:

β_{γ} = beta de la criptomoneda γ .

r_m = retorno del mercado.

r_{γ} = retorno de la criptomoneda γ .

Con el fin de contrastar la rentabilidad real de cada una de las criptomonedas analizadas con una rentabilidad ajustada por riesgo, se propone la medición del rendimiento teórico siguiendo la estimación sugerida en la ecuación (4):

$$C_{\gamma} = r_f + \beta_{\gamma} * (r_m - r_f) \quad (4)$$

Donde:

C_{γ} = rentabilidad ajustada por riesgo para la criptomoneda γ

r_f = tasa libre de riesgo de impago³.

r_m = retorno del mercado.

r_{γ} = retorno anual de la criptomoneda γ

Por último, en el análisis final, para determinar si el rendimiento de las criptomonedas compensa el riesgo que asumen los inversionistas se aplicará la ecuación (5):

$$\alpha_{\gamma} = r_{\gamma} - C_{\gamma} \quad (5)$$

Cada paso del procedimiento se realizó utilizando datos históricos de precios diarios de las criptomonedas, asegurando de que todos los cálculos sean reproducibles con el mismo conjunto de datos y metodología descrita.

Consideraciones éticas

En cuanto a las consideraciones éticas del estudio, los autores aseguran que se han seguido estrictas normas éticas

2 La misma metodología se aplica para la estimación del rendimiento del mercado.

3 Para efectos de esta investigación, se asume como r_f la tasa de rendimiento de los bonos del tesoro norteamericano con vencimiento a 1 año.

en todas las fases de la investigación. No existen conflictos de interés que pudieran haber influenciado indebidamente el juicio profesional de los investigadores. Todos los datos utilizados en este estudio provienen de fuentes de acceso público y no implican riesgos para los participantes, dado que no se requirió recolección directa de datos ni interacción con sujetos humanos. Para garantizar la transparencia y permitir la verificación de la información utilizada, los enlaces a los repositorios de las fuentes secundarias empleadas están disponibles en las referencias del artículo. Estas medidas aseguran la protección de la privacidad y la integridad de la información utilizada en la investigación.

Resultados

Para el análisis de datos, se explica cómo las técnicas estadísticas seleccionadas permiten una evaluación del rendimiento y la volatilidad de las criptomonedas en comparación con el Índice S&P 500. En este sentido, se utilizaron las siguientes estadísticas descriptivas: el promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación de los rendimientos anuales y del beta. Para investigar la compensación de riesgo de las criptomonedas, se aplicó un análisis de frecuencia y se llevó a cabo pruebas de hipótesis para evaluar si los rendimientos de las criptomonedas superan un rendimiento teórico ajustado por riesgo.

La elección de estas técnicas estadísticas se justifica por su capacidad de descomponer y explicar la variabilidad y el riesgo asociados a los activos financieros, brindando así puntos de vista sobre la estabilidad y el potencial de inversión de las criptomonedas. Todo el análisis se realizó utilizando el MS Excel, que es reconocido por su robustez y practicidad.

Para evaluar la dispersión del rendimiento y del beta de cada criptomoneda, se aplicará la metodología propuesta por Vargas (2007) (véase tabla 1).

Tabla 1. Interpretación de los resultados del coeficiente de variación

Resultado	Interpretación
Si $CV \leq 0.3 \bar{x}$	El conjunto de datos es homogéneo con relación a la media.
Si $0.3 \bar{x} < CV \leq 0.7 \bar{x}$	El conjunto de datos es variable con relación a la media.
Si $CV > 0.7 \bar{x}$	El conjunto de datos es muy variable con relación a la media.

Fuente: elaboración propia con datos de Vargas (2007).

La tabla 2 muestra los promedios, desviaciones estándar y coeficientes de variación, junto con una interpretación del comportamiento de los rendimientos del Índice *Standard & Poors* y de las criptomonedas analizadas.

Durante el periodo 2019-2023 se evidenciaron varias tendencias y diferencias en términos de rendimiento y volatilidad.

Tabla 2. Promedio rendimiento anual y desviación estándar de S&P 500, Bitcoin, Ethereum, Tether y Binance, periodo 2019-2023

Año	Medida	S&P 500	Bitcoin	Ethereum	Tether	Binance
2019	Promedio rendimiento anual	28.6%	81.9%	-16.4%	-2.4%	120.8%
	Desviación estándar	12.5%	68.1%	74.6%	6.6%	80.9%
	Coefficiente de variación	43.6%	83.1%	456.5%	277.7%	67.0%
	Interpretación	Heterogéneo	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo	Heterogéneo
2020	Promedio rendimiento anual	16.0%	295.1%	454.4%	0.1%	168.5%
	Desviación estándar	34.5%	76.5%	101.6%	10.0%	97.1%
	Coefficiente de variación	215.3%	25.9%	22.4%	11002.1%	57.6%
	Interpretación	Muy heterogéneo	Homogéneo	Homogéneo	Muy heterogéneo	Heterogéneo
2021	Promedio rendimiento anual	26.6%	59.0%	390.3%	0.0%	1223.1%
	Desviación estándar	13.1%	78.2%	107.2%	1.0%	132.4%
	Coefficiente de variación	49.0%	132.6%	27.5%	2570.0%	10.8%
	Interpretación	Heterogéneo	Muy heterogéneo	Homogéneo	Muy heterogéneo	Homogéneo
2022	Promedio rendimiento anual	-19.4%	-64.1%	-67.4%	-0.1%	-51.9%
	Desviación estándar	24.1%	65.0%	88.4%	0.5%	75.0%
	Coefficiente de variación	124.3%	101.5%	131.2%	980.1%	144.6%
	Interpretación	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo
2023	Promedio rendimiento anual	24.2%	153.1%	91.7%	0.1%	27.7%
	Desviación estándar	13.0%	46.1%	48.8%	0.6%	45.3%
	Coefficiente de variación	53.8%	30.1%	53.2%	792.7%	163.7%
	Interpretación	Heterogéneo	Heterogéneo	Heterogéneo	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo

Fuente: elaboración propia.

En el 2019, el S&P 500 muestra un rendimiento estable con un coeficiente de variación del 43.6%, indicando una dispersión heterogénea entre los datos. En contraste, todas las criptomonedas, excepto Binance, exhibieron coeficientes de variación altos, con Ethereum y Tether que mostraron una alta volatilidad y rendimientos negativos. Bitcoin y Binance tuvieron rendimientos positivos, pero con alta volatilidad.

En el 2020, se observa un cambio en el rendimiento de las criptomonedas, con Bitcoin y Ethereum que mostraron incrementos en sus rendimientos anuales y una volatilidad relativamente baja. En comparación, el S&P 500 tuvo un rendimiento más bajo y una volatilidad alta (coeficiente de variación de 215.3%). Tether, aunque con un rendimiento cercano a cero, mostró una volatilidad alta.

Para el 2021, el S&P 500 mantuvo una volatilidad moderada con un rendimiento superior al del 2020. Bitcoin y Ethereum mostraron rendimientos altos, pero con una volatilidad considerable, mientras que Tether continuó con un rendimiento cercano a cero y una volatilidad alta. Binance tuvo un rendimiento alto con una baja volatilidad.

En el 2022, todas las criptomonedas experimentaron rendimientos negativos, con Bitcoin y Ethereum que mostraron altas volatilidades. El S&P 500 también tuvo un rendimiento negativo, pero con menor volatilidad en comparación con las criptomonedas.

Para el 2023, Bitcoin, Ethereum y Binance mostraron un repunte en sus rendimientos con una volatilidad moderada. En contraste, Tether mantuvo un rendimiento cercano

a cero con una volatilidad alta. El S&P 500 mostró un rendimiento positivo con una volatilidad moderada.

Se evidencia que las criptomonedas, objeto de estudio, han mostrado una mayor volatilidad y rendimientos extremos en comparación con el S&P 500. De esto se concluye que mientras las criptomonedas ofrecen mayores rendimientos, vienen con un riesgo mayor. Tether, en particular, ha mostrado una volatilidad alta con un rendimiento casi nulo, lo que sugiere una dinámica diferente en comparación con otras criptomonedas. La volatilidad del S&P 500 es más baja comparada con la de las criptomonedas, lo que refleja su naturaleza como un índice más estable y diversificado.

La tabla 3 muestra los promedios, desviaciones estándar y coeficientes de variación, junto con una interpretación del comportamiento de los betas de las criptomonedas analizadas.

En el 2019, todas las criptomonedas, excepto Tether, mostraron un beta negativo, sugiriendo un comportamiento contrario al del mercado. Sin embargo, las altas desviaciones estándar y los coeficientes de variación (superiores al 70%) indican una volatilidad extrema. Ethereum y Tether, especialmente, mostraron una variabilidad considerable en relación con el mercado, lo que implica un riesgo significativo y un comportamiento impredecible.

En el 2020, Bitcoin, Ethereum y Binance mostraron betas positivos; sin embargo, el riesgo para este año fue inferior al del mercado ($\beta < 1$). Aunque estos betas son relativamente bajos (excepto para Ethereum), las altas desviaciones estándar y los coeficientes de variación siguen indicando una considerable volatilidad y riesgo.

Tabla 3. Promedio beta y desviación estándar de Bitcoin, Ethereum Tether y Binance, periodo 2019-2023

Año	Medida	Bitcoin	Ethereum	Tether	Binance
2019	Beta anual promedio	-0.41	-0.18	0.01	0.29
	Desviación estándar	1.89	1.36	0.12	1.32
	Coeficiente de variación	462.9%	755.0%	1117.1%	463.7%
	Interpretación	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo
2020	Beta anual promedio	0.31	0.56	-0.01	0.44
	Desviación estándar	1.40	1.81	0.08	1.76
	Coeficiente de variación	448.3%	320.9%	595.8%	402.2%
	Interpretación	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo
2021	Beta anual promedio	1.49	1.58	0.00	1.73
	Desviación estándar	1.30	2.36	0.02	2.61
	Coeficiente de variación	87.6%	149.5%	1871.5%	151.3%
	Interpretación	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo
2022	Beta anual promedio	1.53	1.99	0.00	1.45
	Desviación estándar	0.50	0.85	0.00	0.76
	Coeficiente de variación	32.8%	42.9%	123.9%	52.7%
	Interpretación	Heterogéneo	Heterogéneo	Muy heterogéneo	Heterogéneo
2023	Beta anual promedio	0.47	0.54	0.00	0.65
	Desviación estándar	0.69	0.90	0.02	0.55
	Coeficiente de variación	148.4%	166.8%	709.6%	84.1%
	Interpretación	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo	Muy heterogéneo

Fuente: elaboración propia.

En el 2021, todas las criptomonedas, excepto Tether, tuvieron un aumento en sus betas, sugiriendo un mayor riesgo en comparación con el mercado (S&P 500 para efectos de esta investigación). Tether, con un beta y una desviación estándar cercanos a cero, se mantuvo como la opción menos volátil.

En el 2022, se observa una estabilización en los betas de Bitcoin, Ethereum y Binance, con una disminución en sus desviaciones estándar y coeficientes de variación, indicando una menor volatilidad en relación con el mercado. Tether continúa mostrando un menor riesgo respecto al mercado.

Para el 2023, Bitcoin, Ethereum y Binance mostraron una disminución en sus betas en comparación con el 2022, pero con un aumento en la variabilidad, como lo demuestran los coeficientes de variación superiores al 70% para Ethereum y Bitcoin. Esto indica un retorno a un comportamiento más volátil y menos predecible en relación con el mercado. Tether se mantiene constante con un beta cercano a cero y una alta variabilidad.

A lo largo del periodo de la ventana de observación, las criptomonedas han mostrado una variabilidad significativa en su beta, reflejando un alto grado de riesgo sistemático y volatilidad en su comportamiento de mercado. Tether se destaca por su bajo riesgo con respecto al mercado, lo que sugiere que se comporta de manera diferente a otras criptomonedas en relación con el mercado en general.

Bitcoin y Ethereum muestran una tendencia a tener un mayor riesgo con respecto al mercado en algunos años, con una volatilidad significativa, lo que refleja un riesgo sistemático considerable.

Binance muestra un riesgo moderado con el mercado. También experimenta una volatilidad alta en su beta, lo que indica un riesgo significativo.

En función del riesgo y el rendimiento, se puede concluir que estas criptomonedas sugieren un perfil de riesgo-rendimiento alto para los inversores, donde los altos rendimientos potenciales pueden venir acompañados de un riesgo sistemático considerable.

Los resultados sobre la compensación del riesgo de cada una de las criptomonedas analizadas se encuentran en la tabla 4.

Tabla 4. Compensación del riesgo de las criptomonedas Bitcoin, Ethereum, Tether y Binance, periodo 2019-2023

Año	Medida	Bitcoin	Ethereum	Tether	Binance
2019	Compensa	52.6%	47.8%	0.0%	55.6%
	No compensa	47.4%	52.2%	100.0%	44.4%
2020	Compensa	64.0%	68.8%	16.6%	64.8%
	No compensa	36.0%	31.2%	83.4%	35.2%
2021	Compensa	51.6%	60.3%	13.1%	66.3%
	No compensa	48.4%	39.7%	86.9%	33.7%
2022	Compensa	51.8%	28.3%	0.0%	25.9%
	No compensa	48.2%	71.7%	100.0%	74.1%
2023	Compensa	45.2%	36.4%	0.0%	18.4%
	No compensa	54.8%	63.6%	100.0%	81.6%

Fuente: elaboración propia.

En el 2019, Bitcoin y Binance lograron compensar el riesgo más de la mitad del tiempo (52.6% y 55.6%, respectivamente), mientras que Ethereum lo hizo en menos de la mitad de las ocasiones (47.8%). Tether no compensó el riesgo en ningún momento, reflejando su baja y su estabilidad relativa. Este año, las criptomonedas mostraron una alta variabilidad en su rendimiento y en su relación con el mercado (beta), lo que se refleja en su capacidad inconsistente para compensar el riesgo.

En el 2020, todas las criptomonedas, excepto Tether, mostraron una mejor capacidad para compensar el riesgo, especialmente Ethereum (68.8%) y Binance (64.8%). Esto se alinea con el aumento en sus rendimientos anuales. Tether, con un bajo beta, siguió sin compensar el riesgo.

En el 2021, Bitcoin, Ethereum y Binance mantuvieron su capacidad para compensar el riesgo en más de la mitad de las ocasiones, siendo Binance la más consistente (66.3%). Estos resultados están en línea con los betas más altos observados y con la variabilidad en su rendimiento anual. Tether es la criptomoneda que menos veces ha compensado el riesgo.

En el 2022, la capacidad de todas las criptomonedas para compensar el riesgo disminuyó, con Ethereum y Binance cayendo por debajo del 30%. Esto podría reflejar el aumento en la volatilidad del mercado y la disminución en los rendimientos anuales de estas criptomonedas, como se observó en los análisis anteriores. Tether continuó sin compensar el riesgo.

En el 2023, se sigue observando la tendencia negativa del 2022, con Bitcoin y Ethereum compensando el riesgo menos de la mitad del tiempo y Binance cayendo aún más. Esto sugiere un aumento en la incertidumbre y el riesgo en el mercado de criptomonedas, lo que posiblemente refleja la mayor volatilidad y cambios en las condiciones del mercado.

Ante este contexto, surge la necesidad de una evaluación cuantitativa rigurosa para entender mejor la dinámica de riesgo-rendimiento de las criptomonedas en los últimos años. Por tanto, se propone una prueba de hipótesis enfocada en determinar, con evidencia estadística, si la rentabilidad obtenida por cada una de estas monedas ha compensado adecuadamente el riesgo asumido por los inversionistas durante el periodo comprendido entre el 2019 y 2023.

H_0c = el resultado promedio durante el periodo 2019-2023 del Alpha de Jensen para la criptomoneda c es menor a cero.

H_1c = el resultado promedio durante el periodo 2019-2023 del Alpha de Jensen para la criptomoneda c es mayor a cero.

El nivel de confianza con el que se validará la hipótesis será del 5% ($\alpha = 5\%$). Por tanto, el valor de no rechazo de H_1 será si $Z > 1.64$.

Con base en lo anterior se tiene que:

$$Z_c = \frac{(\bar{x}_c - \mu)}{\left(\frac{\sigma_c}{\sqrt{n_c}}\right)}$$

Donde:

Z_α = estadístico de prueba para la criptomoneda c

\bar{x}_c = valor promedio del Alpha de Jensen para la criptomoneda periodo 2019-2023.

μ = umbral de compensación del riesgo que para efectos de esta investigación es 0 (cero).

σ_c = desviación estándar del Alpha de Jensen para la criptomoneda periodo 2019-2023.

$\sqrt{n_c}$ = número de observaciones periodo 2019-2023 de la criptomoneda .

Los resultados obtenidos de la prueba de hipótesis para cada una de las criptomonedas analizadas se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados prueba de hipótesis compensación del riesgo de las criptomonedas Bitcoin, Ethereum, Tether y Binance, periodo 2019-2023

Medida	Bitcoin	Ethereum	Tether	Binance
Promedio Alpha de Jensen periodo 2019-2023	0.6%	1.3%	-2.1%	3.0%
Media esperada	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Desviación estándar	13.1%	16.5%	2.0%	24.9%
Cantidad rendimientos	1238	1238	1238	1238
Valor de rechazo	1.64	1.64	1.64	1.64
Estadístico de prueba	1.51	2.74	-36.89	4.25
Decisión	Se rechaza H1	No se rechaza H1	Se rechaza H1	No se rechaza H1

Fuente: elaboración propia.

Para Bitcoin, el Alpha de Jensen promedio es de 0.6%, con un estadístico de prueba de 1.51, por debajo del valor de rechazo de 1.64. Esto indica que, aunque Bitcoin ha mostrado cierta capacidad para compensar el riesgo, este resultado no es estadísticamente significativo para rechazar la hipótesis de que no ha compensado el riesgo. Este hallazgo se relaciona con los análisis anteriores, donde Bitcoin mostró una capacidad variable para compensar el riesgo a lo largo de los años, reflejando su volatilidad y rendimiento inconsistente.

Ethereum muestra un Alpha de Jensen promedio de 1.3%, con un estadístico de prueba de 2.74, superando el valor de rechazo. Esto indica una evidencia estadística de que Ethereum, en promedio, ha compensado el riesgo durante el periodo estudiado. Esto concuerda con los análisis previos, donde Ethereum generalmente mostró una mayor capacidad para compensar el riesgo en comparación con otras criptomonedas y mantuvo una relación y volatilidad relativas con el mercado.

Tether presenta un Alpha de Jensen promedio de -2.1% y un estadístico de prueba de -36.89, lo que sugiere que no ha compensado el riesgo. Este resultado es coherente con los análisis anteriores, donde Tether mostró una baja capacidad para compensar el riesgo.

Binance tiene un Alpha de Jensen promedio de 3.0% y un estadístico de prueba de 4.25, lo que indica que ha compensado el riesgo durante el periodo 2019-2023. Esto está en línea con los resultados anteriores, donde Binance mostró un rendimiento alto en algunos de los años estudiados y una capacidad para compensar el riesgo en comparación con otras criptomonedas.

Conclusiones

El *blockchain*, en un principio vinculado al Bitcoin, ha trascendido las expectativas, demostrando una capacidad disruptiva y adaptativa que va más allá del ámbito financiero, con un impacto significativo en diversas industrias. Sin embargo, la volatilidad del mercado de criptomonedas, junto con el papel ambiguo de los intermediarios, recalca tanto las oportunidades como los riesgos asociados a este sector emergente, poniendo de manifiesto la complejidad de su naturaleza. Esta misma volatilidad cuestiona la funcionalidad de las criptomonedas como medio de intercambio, generando dudas sobre su capacidad para actuar como reserva de valor estable. Esta intersección de adaptabilidad tecnológica y desafíos económicos ilustra la dualidad de las criptomonedas: su promesa de innovación y su enfrentamiento con cuestiones prácticas de estabilidad y confianza.

La comprensión profunda de los riesgos asociados a las inversiones en criptomonedas requiere distinguir, de manera clara, entre el riesgo sistemático, inherente al mercado en su conjunto y no mitigable, y el riesgo no sistemático, específico a un activo y mitigable a través de la diversificación. Esta distinción es crucial en un contexto donde la incertidumbre regulatoria y el riesgo de reclasificación de *tokens* plantean desafíos significativos, afectando no solo la operatividad, sino también la reputación de las criptomonedas en el mercado global. Además, la capacidad de las criptomonedas para compensar el riesgo asumido por los inversores está directamente influenciada por su volatilidad y rendimiento anual. Se ha observado que los años que registran rendimientos más altos y betas positivos tienden a estar asociados con una mayor capacidad para compensar el riesgo, por lo que resalta la compleja interacción entre el rendimiento de las criptomonedas, su volatilidad y el marco regulatorio en el que operan.

Ethereum y Binance han demostrado su capacidad para compensar el riesgo, un rendimiento que se alinea con sus resultados generales, destacándose en el mercado de criptomonedas. Por otra parte, Bitcoin, si bien se aproxima al umbral de significancia, exhibe una capacidad menos consistente para neutralizar el riesgo, lo que se puede atribuir a su rendimiento altamente variable. En contraste, Tether se distingue por su tendencia consistente a no compensar el riesgo, característica que coincide con su baja volatilidad y un beta que se aproxima a cero, indicando que opera bajo una dinámica de mercado distinta en comparación con otras criptomonedas como Ethereum y Binance. Esta variabilidad entre criptomonedas es fundamental para entender su comportamiento de mercado y su capacidad para compensar el riesgo, dentro del panorama de las inversiones digitales.

Aunque dos de las cuatro criptomonedas analizadas han logrado compensar el riesgo, la notable variabilidad de sus rendimientos, año tras año, destaca un panorama desafiante para los inversores, donde la alta volatilidad del mercado significa que los altos riesgos asumidos no siempre se ven equilibrados con rendimientos correspondientes.

Este escenario subraya la necesidad de adoptar un enfoque cauteloso y bien fundamentado hacia la inversión en criptomonedas, y reconoce que, aunque hay oportunidades para compensar el riesgo, los inversores deben estar preparados para periodos en los que los rendimientos obtenidos pueden no justificar el nivel de riesgo enfrentado. Tal contexto demanda una evaluación rigurosa y una estrategia de inversión adaptativa, capaz de navegar por la complejidad y la incertidumbre inherentes al mercado de criptomonedas.

Un posible tema de continuidad para esta investigación podría ser el análisis de las estrategias de mitigación de riesgo y la diversificación en inversiones de criptomonedas. Con este estudio ampliaría el análisis de cómo la diversificación entre diferentes tipos de criptomonedas y otros activos financieros puede mejorar la relación riesgo-rendimiento de las carteras de inversión. La investigación se centraría en identificar estrategias óptimas de inversión que puedan reducir la volatilidad inherente al mercado de criptomonedas, aprovechando la variabilidad en el desempeño de diferentes criptoactivos para maximizar los retornos ajustados al riesgo.

Los resultados de esta investigación hacen su contribución en dos frentes: en la academia y en la práctica. Por la parte académica, ofrece un análisis del rendimiento ajustado al riesgo en criptomonedas, lo que permite ampliar la comprensión de la dinámica riesgo-retorno en activos digitales. Además, muestra una base para futuras investigaciones sobre la eficiencia del mercado y la gestión de carteras en el ámbito de las finanzas descentralizadas. En la práctica, proporciona, a quienes intervienen en este mercado, una herramienta para evaluar el rendimiento de las criptomonedas, donde resalta la importancia de considerar la volatilidad y el marco regulatorio al tomar decisiones de inversión.

Financiación

La presente investigación es producto de la convocatoria de investigación 055 de 2023 de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Colombia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que, durante el proceso de investigación, no ha existido ningún interés que haya podido influenciar de manera indebida el juicio profesional o accionar de los investigadores al momento de elaborar y publicar el presente artículo.

Contribuciones de los autores

Andrés Caicedo Carrero: conceptualización, análisis estadístico, investigación, metodología, escritura (borrador original). Jorge Alexander Cortés Cortés: conceptualización, investigación, metodología, escritura (borrador original). Wilmar Arnulfo Bravo Murillo: conceptualización, investigación, metodología, escritura (borrador original). Myriam Aydee Moreno Garzón: conceptualización, investigación, metodología, escritura (borrador original).

Referencias

- Auke, P. (2007). Performance measurement and evaluation. *Munich Personal RePEc Archive*, 1-43. https://mpra.ub.uni-muenchen.de/5048/1/MPRA_paper_5048.pdf
- Bains, P., Ismail, A., Melo, F., & Sugimoto, N. (2022). Regulating the crypto ecosystem: The case of unbacked crypto assets. *International Monetary Fund Fintech Note*, 1-47. <https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/FTN063/2022/English/FTNEA2022007.ashx>
- Bank for International Settlements. (2023). *The crypto ecosystem: Key elements and risks*. <https://www.bis.org/publ/othp72.pdf>
- Berentsen, A., & Schär, F. (2018). A short introduction to the world of cryptocurrencies. *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 1-16. https://www.researchgate.net/publication/322456542_A_Short_Introduction_to_the_World_of_Cryptocurrencies
- Brini, A., & Lenz, J. (2024). A comparison of cryptocurrency volatility-benchmarking new and mature asset classes. *Financial Innovation*, 1-38. <https://doi.org/10.1186/s40854-024-00646-y>
- Chen, Y., She, C., Wu, Q., & Wang, H. (2022). The ineffectiveness of capital asset pricing model and its possible solutions. *Advances in Economics, Business and Management Research*, 211, 105-110. <https://www.atlantis-press.com/article/125971645.pdf>
- Cloots, A. S. (2018). Cryptocurrencies, blockchain and risk management: Legal, operational and systemic risk. *Judge Business School*, 1-10. <https://www.jbs.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2020/08/riskprize2018-cloots.pdf>
- CoinMarketCap. (2024, enero 28). *CoinMarketCap*. <https://coinmarketcap.com/>
- Czekierda, B. (2007). The capital asset pricing model: Test of the model on the Warsaw Stock Exchange. *Institutionen för Ekonomi, Statistik och Informatik*, 1-57. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:139114/fulltext01.pdf>
- Dasman, S. (2021). Analysis of return and risk of cryptocurrency Bitcoin asset as investment instrument. In Alsharari, N. M., *21st century approaches to management and accounting research* (pp. 1-14). IntechOpen. <https://ideas.repec.org/h/ito/pchaps/233754.html#:~:text=The%20results%20showed%20that%20the,standard%20deviation%20less%20than%205%25>
- Doncel, L. M., Sainz, J., Grau, P., & Otamendi, J. (2008). An evaluation on the true statistical relevance of Jensen's Alpha trough simulation: An application for Germany. *Economics Bulletin*, 7(10), 1-9. https://www.researchgate.net/publication/4831902_An_evaluation_on_the_true_statistical_relevance_of_Jensen's_alpha_trough_simulation_An_application_for_Germany
- Du, T. M. (2015). A different approach to Jensen relationship with returning ranking. *Undergraduate Economic Review*, 11(1), 1-16, Article 16. <https://core.ac.uk/download/pdf/59232184.pdf>
- Elbannan, M. A. (2015). The capital asset pricing model: An overview of the theory. *International Journal of Economics and Finance*, 7(1), 216-228. https://www.researchgate.net/publication/270574575_The_Capital_Asset_Pricing_Model_An_Overview_of_the_Theory
- Fahmi, S., Geetha, C., & Mohidin, R. (2017). The effect of systematic risk factors on the performance of the Malaysia stock market. *Proceedings of International Conference on Economics*, 57-68. <https://www.ums.edu.my/fpfp/files/Shameer.pdf>
- Fama, E. F., & French, K. R. (2004). The capital asset pricing model: Theory and evidence. *Journal of Economic Perspectives*, 18(3), 24-45. <https://websites.umich.edu/~kathrynd/JEP.FamaandFrench.pdf>
- Farooq, S. (2020). 04th International Conference on Marketing, Technology & Society. *Evaluating Stock Performance with Jensen Alpha and Beta* (pp. 1-5). Indian Institute of Management Kozhikode. <https://forms.iimk.ac.in/research/markconf20/Proceedings/289.pdf>
- Forero Laverde, G. (2011). Contrastación de paradigmas de las finanzas: normalidad e hipótesis del mercado eficiente. *Aplicaciones en Matlab. ODEON. Observatorio de Economía y Operaciones Numéricas*, 5, 168-227. <https://revistas.ueexternado.edu.co/index.php/odeon/article/download/2870/2511/9596>
- Gerba, E., & Rubio, M. (2019). Virtual money: How much do cryptocurrencies alter the fundamental functions of

- money? *European Parliament's Committee on Economic and Monetary Affairs*, 1-35. <https://www.europarl.europa.eu/cmsdata/207652/12.%20PE%20642.360%20LSE%20final%20publication-original.pdf>
- Goundar, S. (2021). *Introduction to blockchains and cryptocurrencies*. University of the South Pacific, Suva, Fiji, 9-19. https://www.researchgate.net/publication/345098872_Introduction_to_Blockchains_and_Cryptocurrencies
- Hacibedel, B., & Pérez-Saiz, H. (2023). Assessing macrofinancial risks from crypto assets. *International Monetary Fund*, 1-35. <https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2023/English/wpiea2023214-print-pdf.ashx>
- Isaac Roque, D., & Caicedo Carrero, A. (2021). Uso del valor económico agregado en empresas no cotizantes en el mercado de valores de Colombia. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(S3), 592-602. <https://www.researchgate.net/publication/360791391>
- Isaac Roque, D., Caicedo Carrero, A., & De la Oliva de Con, F. (2023). Medición de los factores que determinan la creación de valor en los sectores económicos colombianos: periodo 2016-2020. *Revista Finanzas y Política Económica*, 15(1), 213-244. <https://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.v15.n1.2023.9>
- Isaac-Roque, D., & Caicedo-Carrero, A. (2023). Relación entre los indicadores financieros del modelo Altman Z y el puntaje Z. *Retos. Revista de Ciencias de la Administración y Economía*, 13(25), 129-148. <https://doi.org/10.17163/ret.n25.2023.09>
- Jensen, M. C. (1967). The performance of mutual funds in the period 1945-1964. *Journal of Finance*, 23(2), 389-416. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.244153>
- Joseph, T.E., Jahanger, A., Chukwuma Onwe, J., & Balsalobre-Lorente, D. (2024). The implication of cryptocurrency volatility on five largest African financial system stability. *Financial Innovation*, 10(42). <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00580-5>
- Kapoor, T., & Ahuja, L. (2024). Machine learning-based evaluation of financial risks in cryptocurrency. *Cyber Security and Digital Forensics* (pp. 531-554). Springer, Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 896. https://doi.org/10.1007/978-981-99-9811-1_42
- Koutmos, D. (2023). Investor sentiment and bitcoin prices. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 60, 1-29. <https://doi.org/10.1007/s11156-022-01086-4>
- Kufo, A., Gjeci, A., & Pilkati, A. (2024). Unveiling the influencing factors of cryptocurrency return volatility. *Risk Financial Manag*, 17(1), 12. <https://doi.org/10.3390/rjfm17010012>
- Li, S. (2023). The development of CAPM model and its application in the field of corporate finance. *7th International Conference on Economic Management and Green Development* (pp. 1-7). University of Shanghai for Science & Technology. https://www.researchgate.net/publication/375551254_The_Development_of_CAPM_Model_and_Its_Application_in_the_Field_of_Corporate_Finance
- Liu, J., & Serletis, A. (2019). Volatility in the cryptocurrency market. *Open Economies Review*, 1-41. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3422940
- Malkiel, B. G. (1982). Risk and return: A new look. *National Bureau of Economic Research*, 27-46. <https://www.nber.org/system/files/chapters/c11393/c11393.pdf>
- Modigliani, F., & Pogue, G. A. (1973). An introduction to risk and return concepts and evidence. *Financial Analysts Journal*, 68-80. <https://core.ac.uk/download/pdf/4379523.pdf>
- Motorina, A. (2021). The dynamics of risk and return in the stock market of Finland during pre and post Financial crisis periods. *Degree Programme in International Business*, 1-44. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/503768/Thesis_Motorina_Aleksandra.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Bitcoin.org*, 1-9. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Ngoc Nguyen, A. P., Tan Mai, T., Bezbradica, M., & Crane, M. (2023). Volatility and returns connectedness in cryptocurrency markets: Insights from graph-based methods. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 632(Part 1), 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2023.129349>
- Phuoc, L. T. (2018). Jensen's Alpha estimation models in capital asset pricing model. *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 5(3), 19-29. https://www.researchgate.net/publication/327644564_Jensen's_Alpha_Estimation_Models_in_Capital_Asset_Pricing_Model
- Przyłuska-Schmitt, J., Jegorow, D., & Bučková, J. (2023). The dynamics of cryptocurrency price volatility in the face of the crisis on the example of Bitcoin and Ethereum. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio H - Oeconomia*, 57(2), 101-113. <https://bibliotekanauki.pl/articles/16729161.pdf>
- Sa'diyah, C., Widagdo, B., & Fitriyari, F. (2024). Cryptocurrency investment: Evidence of financial literacy, experience, and risk tolerance. *Investment Management and Financial Innovations*, 21(3), 148-159. [http://dx.doi.org/10.21511/imfi.21\(3\).2024.13](http://dx.doi.org/10.21511/imfi.21(3).2024.13)
- Sherif, I., Lebid, O., Goncharova, O., Drobyazko, S., & Inna, S. (2024). Financial risks of business management of cryptocurrency operations. *TEM Journal*, 13(1), 355-364. https://www.temjournal.com/content/131/TEMJournalFebruary2024_355_364.html
- Vargas, F. V. (2007). *Estadística descriptiva para ingeniería ambiental con SPSS*. Impresora Feriva, S. A. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52004>
- Wagdi, O., & Tarek, Y. (2019). The impact of financial risk on systematic risks: International evidence. *Journal of Applied Finance & Banking*, 9(6), 203-216. https://www.researchgate.net/publication/334560865_The_impact_of_financial_risk_on_systematic_risks_international_evidence
- Willis Towers Watson. (2019). Cryptocurrency: Risk management overview. Willis Towers Watson, 1-3. <https://www.wtco.com/-/media/wtwt/insights/2019/01/cryptocurrency-risk-management-overview.pdf>
- Wirth, T., Siegl, T., & Schmitt, M. (2024). Is Bitcoin enough? An analysis of passive cryptocurrency investments. *The Journal of Alternative Investments Spring*, 76-95. <https://www.pmr-research.com/content/ijjaltinv/26/4/76>
- Yahoo Finance. (2024, enero 28). *Yahoo! Finance*. <https://finance.yahoo.com/>
- Zhou, F. (2024). Cryptocurrency: A new player or a new crisis in financial markets? Evolutionary analysis of association and risk spillover based on network science. *Statistical Mechanics and its Applications*, 648, 129955. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2024.129955>