

Optimización de portafolios de criptomonedas utilizando el modelo de Markowitz: Un análisis de las principales cinco criptomonedas

Optimization of cryptocurrency portfolios using the Markowitz model: An analysis of the top five cryptocurrencies

Cristian D. Mercader Castelán ^a, Beatriz Sauza Ávila ^b, Dorie Cruz Ramírez ^c, Suly S. Pérez Castañeda ^d, Claudia B. Lechuga Canto ^e, Victoria Hernández Ramírez ^f

Abstract:

This study applies the Markowitz model to optimize investment portfolios composed of the five leading cryptocurrencies by market capitalization: Bitcoin, Cardano, BNB, Litecoin, and Ether, during the period from 2019 to 2024. The general objective is to analyse how to optimize these portfolios by maximizing expected returns and balancing risk. Specific objectives include determining the expected returns, variance, and coefficient of variation for each cryptocurrency, as well as estimating the optimal investment proportions in a diversified portfolio. Historical price data was obtained from Yahoo! Finance, selecting representative cryptocurrencies with sufficient information. The results show an increasing relationship between risk and return, in line with variance theory, and identify a portfolio with lower risk and higher relative return. This finding highlights the importance of diversification in a highly volatile market like cryptocurrencies. It is concluded that the Markowitz model is useful for managing risk in cryptocurrencies, although additional factors such as liquidity and market events should be considered. The results provide both theoretical and practical implications, offering empirical evidence on the efficiency of crypto portfolios and their applicability in investment strategies.

Keywords:

Portfolio optimization, cryptocurrencies, Markowitz model, risk, return.

Resumen:

Este estudio aplica el modelo de Markowitz para optimizar portafolios de inversión compuestos por las cinco principales criptomonedas por capitalización de mercado: Bitcoin, Cardano, BNB, Litecoin y Ether, durante el período de 2019 a 2024. El objetivo general es analizar cómo optimizar estos portafolios, maximizando la rentabilidad esperada y equilibrando el riesgo. Los objetivos específicos incluyen determinar los rendimientos esperados, la varianza y el coeficiente de variación de cada criptomoneda, así como estimar las proporciones óptimas de inversión en un portafolio diversificado. Se utilizaron datos históricos de precios obtenidos de Yahoo! Finanzas, seleccionando criptomonedas representativas con suficiente información. Los resultados muestran una relación creciente entre riesgo y rendimiento, conforme a la teoría de varianza, y se identifica un portafolio con menor riesgo y mayor

^a Universidad autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México,

<https://orcid.org/0009-0001-2784-0881>, Email: me434565@uaeh.edu.mx

^b Autor de Correspondencia, Universidad autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-7919-6792>, Email: beatriz_sauza@uaeh.edu.mx

^c Universidad autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-7853-7655>, Email: doriec@uaeh.edu.mx

^d Universidad autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-3763-9233>, Email: sulysp@uaeh.edu.mx

^e Universidad autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-3081-2379>, Email: claublc@uaeh.edu.mx

^f Instituto Politécnico Nacional | Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Hidalgo | Pachuca de Soto-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0001-5493-3891>, Email: vihernandezr@ipn.mx

rendimiento relativo. Este hallazgo resalta la importancia de la diversificación en un mercado altamente volátil como el de las criptomonedas. Se concluye que el modelo de Markowitz es útil para la gestión del riesgo en criptomonedas, aunque debe considerar factores adicionales como liquidez y eventos del mercado. Los resultados aportan implicaciones tanto teóricas como prácticas, proporcionando evidencia empírica sobre la eficiencia de los portafolios cripto y su aplicabilidad en estrategias de inversión.

Palabras Clave:

Optimización de portafolios, criptomonedas, modelo de Markowitz, riesgo, rendimiento

Introducción

La Cuarta Revolución Industrial ha impulsado avances tecnológicos que han transformado múltiples sectores, incluyendo el financiero. La digitalización de los mercados y la innovación en instrumentos financieros han generado nuevas oportunidades de inversión, desafiando las estructuras tradicionales y ampliando el espectro de diversificación de portafolios (Ma, et al., 2020).

En este contexto, el mercado de criptomonedas ha experimentado un crecimiento sin precedentes en la última década, atrayendo a inversionistas en busca de altos rendimientos. Sin embargo, este mercado se caracteriza por una volatilidad significativa y la ausencia de regulaciones homogéneas a nivel global, lo que plantea retos en la gestión del riesgo y en la construcción de portafolios óptimos. A diferencia de los activos financieros tradicionales, las criptomonedas no están respaldadas por flujos de caja o activos tangibles, lo que las convierte en instrumentos altamente especulativos y sensibles a factores exógenos como cambios regulatorios, noticias del sector tecnológico y eventos macroeconómicos (Bouri, Shahzad & Roubaud, 2020).

Desde la aparición de Bitcoin en 2009, las criptomonedas han ganado una adopción masiva, impulsando el desarrollo de infraestructuras como las billeteras digitales (crypto wallets), que permiten la gestión segura de claves criptográficas y transacciones descentralizadas. Dentro de estas, las billeteras determinísticas han surgido como una solución eficiente al ofrecer facilidad de respaldo y recuperación, así como compatibilidad con diversas funcionalidades del ecosistema cripto (Hu, Liu & Zhou, 2024).

Dada la creciente relevancia de estos activos en los mercados financieros, resulta fundamental evaluar estrategias de inversión que permitan optimizar la relación riesgo-rendimiento en portafolios de criptomonedas. En este sentido, el modelo de Markowitz (1952) ha sido ampliamente utilizado en la construcción de portafolios eficientes dentro de los mercados bursátiles tradicionales, al proporcionar una metodología basada en la minimización del riesgo a través de la diversificación. No obstante, su aplicación en criptomonedas sigue siendo un

área en exploración, debido a la alta correlación entre ciertos activos digitales y su comportamiento no estacionario en el tiempo (Fantazzini, 2019).

El presente estudio tiene como objetivo aplicar el modelo de Markowitz a un portafolio compuesto por las cinco criptomonedas con mayor capitalización de mercado, con el propósito de analizar su desempeño en distintos escenarios de volatilidad, se evaluará si la diversificación dentro de este segmento puede mejorar la relación riesgo-rendimiento para los inversionistas.

Los resultados de esta investigación proporcionarán información clave para inversionistas y gestores de fondos interesados en la optimización de portafolios de criptomonedas. Asimismo, contribuirán a la discusión académica sobre la viabilidad de aplicar modelos tradicionales de optimización financiera en mercados emergentes y altamente especulativos, abriendo nuevas líneas de estudio en el ámbito de la gestión de activos digitales.

Criptomonedas

Las criptomonedas son activos digitales que utilizan criptografía para asegurar transacciones, controlar la creación de nuevas unidades y verificar la transferencia de activos. Funcionan en una tecnología de libro mayor descentralizado conocida como blockchain, lo que significa que no están controladas por ninguna entidad central, como un banco o gobierno (Nguyen & Pham, 2025).

La aparición de las criptomonedas ha generado tanto entusiasmo como preocupación en la economía global moderna. Sin embargo, su alta volatilidad, fluctuaciones erráticas de precios y tendencia a formar burbujas especulativas han hecho que los inversionistas sean cautelosos al asignar capital en estos activos. Por ello, es fundamental desarrollar métodos y modelos sólidos que permitan pronosticar los rendimientos de las criptomonedas y optimizar la asignación de portafolios, beneficiando así a inversionistas, operadores y la comunidad científica (AlMadany, et al 2024). El mercado de criptomonedas es un entorno financiero dinámico y

complejo, donde la comprensión de las relaciones entre activos, especialmente en términos de rentabilidad y liquidez, es fundamental (Zhang, Zhu & Li, 2024)

Bitcoin

El Bitcoin se ha consolidado como un activo financiero con potencial para la diversificación de portafolios y la cobertura de riesgos, aunque no necesariamente como refugio seguro. Su adopción es mayor entre minorías y jóvenes en EE.UU., donde el 37% de los votantes de 18 a 34 años invierte en criptomonedas. Además, un 20% de este grupo desea incluirlas en sus planes de retiro. Un modelo econométrico aplicado en esta investigación confirma que el Bitcoin puede ser utilizado como una herramienta innovadora de inversión, brindando estabilidad en ciertos escenarios de volatilidad financiera. Estos hallazgos subrayan la importancia de la educación en activos digitales y su regulación, dado su creciente papel en el sistema financiero global (Escobar, Avella & Rojas, 2023; World Economic Forum, 2022)

En el artículo científico de Blanc-Blocquel, Ortiz-Gracia, Oviedo, (2024). Se considera al Bitcoin como una variable clave en el diseño de instrumentos financieros para la gestión del riesgo climático. La propuesta de derivados con precios en Bitcoin no solo ofrece herramientas para la regulación ambiental, sino que también aporta un enfoque innovador para modelar la volatilidad de Bitcoin mediante técnicas avanzadas de estimación.

BNB

El estudio de Demmler (2023) examina el impacto de la pandemia de COVID-19 en el comportamiento de las principales criptomonedas, incluyendo Bitcoin, Ethereum, BNB y XRP, comparando sus precios antes y durante la crisis. En particular, se destaca a BNB, que ha ganado relevancia no solo como criptomoneda de intercambio, sino también como una inversión importante. Utilizando un enfoque cuantitativo, el estudio analiza los cambios en los precios de BNB entre 2019 y 2021, y los compara con activos tradicionales como el MSCI World Index y los futuros del oro. Además, se evalúa el papel de BNB en portafolios de inversión optimizados, subrayando su estabilidad y su capacidad para diversificar riesgos en tiempos de crisis.

En un análisis complementario, Alamaren, Gokmenoglu y Taspinar (2024) destacan a BNB como un receptor neto de volatilidad dentro del ecosistema cripto. A diferencia de Bitcoin y Ethereum, que tienden a transmitir volatilidad, BNB absorbe los impactos de otros activos, lo que sugiere una mayor estabilidad relativa. Este comportamiento es

crucial para la diversificación y la mitigación de riesgos en los portafolios financieros. La pandemia amplificó los spillovers de volatilidad, lo que refuerza la importancia de evaluar activos como BNB en contextos de crisis, brindando información valiosa para los inversionistas interesados en optimizar la gestión del riesgo en mercados volátiles.

Litecoin

Litecoin (LTC) fue creada en 2011 por Charlie Lee como una alternativa más eficiente a Bitcoin, enfocada en mejorar la velocidad y el costo de las transacciones diarias. Su principal ventaja es su rapidez, con un tiempo de confirmación de 2.5 minutos por bloque, cuatro veces más rápido que Bitcoin. Además, cuenta con un suministro máximo de 84 millones de monedas, lo que le ha valido la denominación de la plata frente al oro de Bitcoin. Litecoin emplea el algoritmo scrypt en su mecanismo de proof of work, diseñado inicialmente para hacer la minería más accesible sin necesidad de hardware especializado. Sin embargo, con el tiempo, la minería ha sido dominada por equipos ASIC. La emisión de LTC sigue un sistema de halving cada cuatro años, reduciendo la recompensa por bloque para controlar la inflación y garantizar la escasez del activo. Gracias a su velocidad, seguridad y liquidez, Litecoin ha logrado mantenerse relevante en el ecosistema cripto y sigue siendo una de las altcoins más utilizadas para transacciones y pagos digitales (Aguar & Zambujal-Oliveira, 2021).

Cardano

Cardano (ADA) es una criptomoneda de tercera generación lanzada en 2017, diseñada para mejorar la escalabilidad, sostenibilidad y seguridad en comparación con Bitcoin y Ethereum. A diferencia de Litecoin, que emplea proof of work, Cardano utiliza un mecanismo de consenso basado en proof of stake llamado Ouroboros, lo que reduce el consumo energético y mejora la eficiencia en la validación de transacciones. Cardano ha mostrado mejores rentabilidades que Bitcoin y Ethereum en el periodo 2018-2021, aunque con mayor volatilidad. Su diseño modular y enfoque en la investigación académica lo han posicionado como una alternativa atractiva en el ecosistema cripto, buscando ofrecer soluciones escalables para aplicaciones financieras y contratos inteligentes (Benazco & García, 2021).

Ether

Ethereum es una de las criptomonedas más relevantes en el ecosistema blockchain debido a su protocolo basado en Proof-of-Stake (PoS), el cual permite la selección

descentralizada de proponentes y certificadores para la validación de bloques en su red. Este sistema sin permisos distribuye aleatoriamente la capacidad de agregar bloques, lo que refuerza la descentralización de la cadena de bloques. Además, Ethereum implementa un mecanismo de incentivos económicos que influye en el comportamiento de los participantes, ya que los proponentes seleccionan y ordenan transacciones en función del Valor Máximo Extraíble (MEV), lo que maximiza sus ganancias. Asimismo, han surgido constructores, buscadores y relés para optimizar la producción de bloques, determinando qué transacciones se incluyen en la red. Los usuarios de Ethereum dependen de este ecosistema para ejecutar sus transacciones, debiendo pagar tarifas para su inclusión en la cadena de bloques. Este proceso resalta la compleja interacción económica entre los diferentes actores del sistema Ethereum y su impacto en la funcionalidad y seguridad de la red (John et al., 2025).

Modelo Markowitz

A nivel teórico, el modelo de Markowitz (1952) es fundamental en la estructuración de portafolios, ya que busca maximizar la rentabilidad para un nivel de riesgo determinado. Su propuesta ha sido una piedra angular en la teoría financiera, al demostrar cómo la diversificación eficiente permite reducir el riesgo total de un portafolio sin sacrificar rendimiento. La teoría moderna de portafolio de Markowitz establece que los inversionistas deben seleccionar combinaciones de activos que minimicen la varianza del portafolio para un nivel dado de rentabilidad esperada o maximicen la rentabilidad para un nivel de riesgo aceptable. La teoría de Markowitz invita a no solo evaluar el riesgo y la rentabilidad de un activo de forma aislada, sino a analizar cómo la correlación entre activos dentro del portafolio impacta la diversificación del riesgo y la rentabilidad global (Valencia, 2024; Escobar & León, 2022).

El Modelo de Markowitz introduce el concepto de frontera eficiente, que representa un conjunto de carteras óptimas donde, para un nivel determinado de riesgo, se obtiene el mayor rendimiento posible. La selección de activos se realiza a partir de su rendimiento esperado, su varianza (como medida de riesgo) y su correlación con otros activos en la cartera. Al aplicar la optimización de portafolios bajo este enfoque, los inversionistas pueden tomar decisiones informadas que les permitan maximizar beneficios y reducir la volatilidad, evitando concentraciones excesivas en activos individuales. Este método sigue siendo una referencia clave en la gestión de inversiones, tanto en mercados financieros como en otros ámbitos que

requieren una distribución eficiente de recursos (Balqis et al., 2021).

El Modelo de Markowitz, base de la teoría moderna de portafolios, se fundamenta en la optimización de la relación entre riesgo y rentabilidad mediante la diversificación eficiente de activos. Este modelo se formula tradicionalmente como un problema de programación cuadrática (QP), donde el inversor busca minimizar la varianza del portafolio mientras maximiza su rendimiento esperado, ajustando su perfil de aversión al riesgo, (Fernández-Navarro et al., 2021).

La teoría de Markowitz es aplicable a una amplia gama de situaciones de cartera. En detalle, la teoría de Markowitz es menos restrictivo y, por lo tanto, se puede aplicar a diferentes carteras. Al establecer diferentes restricciones y optimizar el modelo de diferentes maneras, el modelo se puede aplicar a diferentes situaciones de cartera. El modelo puede mostrar claramente la media y la varianza de una cartera en diferentes escenarios, lo que ofrece a los inversores una imagen más clara de sus carteras (Guo, 2022).

Algunas publicaciones del modelo Markowitz

En el estudio de Rula (2022), se analizan los precios finales de las acciones incluidas en el índice IDX30, que agrupa algunas de las empresas más importantes del mercado bursátil. Se utiliza el modelo de Markowitz, una herramienta matemática que ayuda a seleccionar la mejor combinación de inversiones, considerando restricciones como la cantidad mínima de acciones que se pueden comprar y un objetivo de rentabilidad.

Por otro lado, Hanif (2021) estudia qué acciones del índice LQ45 (otro grupo de empresas destacadas) pueden formar una cartera de inversión óptima, especialmente en el contexto de la pandemia de COVID-19. Para ello, también se emplea el modelo de Markowitz para encontrar combinaciones de inversiones con el mejor equilibrio entre riesgo y rendimiento.

Vidal & Vidal-García (2024) comparan este modelo con índices bursátiles populares como el FTSE 100 y el FTSE All-Share Index. Descubren que el modelo de Markowitz puede generar carteras con mejores rendimientos y menor riesgo, mientras que estos índices tradicionales no logran ser eficientes porque no reflejan de manera precisa el comportamiento ideal del mercado.

En un ámbito diferente, Jeleskovic et al. (2024) estudian el papel de las criptomonedas dentro de los portafolios de inversión. Aplican técnicas matemáticas avanzadas para

medir el riesgo de estos activos digitales y utilizan el modelo de Markowitz para determinar la mejor combinación de criptomonedas y otros activos financieros.

Finalmente, Jaramillo Echeverry (2021) investiga cómo las criptomonedas pueden ayudar a diversificar portafolios de inversión, combinándolas con activos tradicionales. Su estudio evalúa el nivel de riesgo y retorno de estas combinaciones, resaltando que, a pesar de su volatilidad, las criptomonedas pueden ofrecer oportunidades atractivas para los inversionistas.

Estos estudios confirman que el modelo de Markowitz sigue siendo una herramienta útil para diseñar carteras de inversión equilibradas, sin importar si se trata de acciones de empresas tradicionales o de activos más recientes como las criptomonedas.

Metodología

El presente estudio se basa en el análisis de la optimización de portafolios de criptomonedas utilizando el modelo de Markowitz, dada la alta volatilidad que caracteriza a estos activos financieros. Este fenómeno representa un desafío para la construcción de portafolios óptimos, lo que plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se puede gestionar el riesgo asociado a las criptomonedas para optimizar un portafolio de inversión?

El objetivo general del estudio es analizar cómo se pueden optimizar portafolios de criptomonedas mediante la aplicación del modelo de Markowitz. Para ello, se establecen los siguientes objetivos específicos:

Determinar los rendimientos esperados, la varianza y el coeficiente de variación de cada criptomoneda seleccionada.

Estimar las proporciones óptimas de inversión en un portafolio diversificado

A partir de estos objetivos, se plantea la siguiente hipótesis: Utilizando el modelo de Markowitz, es posible diseñar un portafolio óptimo que equilibre el riesgo y el rendimiento, maximizando la rentabilidad esperada de las principales criptomonedas.

Para llevar a cabo el análisis, los datos históricos de precios de las criptomonedas se obtuvieron a través de la plataforma Yahoo! Finanzas. Se recopilaron datos de las criptomonedas Bitcoin, Cardano, BNB, Litecoin y Ether en el período comprendido entre 2019 al 2024. La selección

de estos activos se realizó mediante un muestreo por conveniencia, eligiendo aquellas criptomonedas que, además de ser representativas del mercado, contaban con información suficiente para la aplicación del modelo de Markowitz.

A partir de la información recopilada (figura 1), se calcularon las métricas clave de rendimiento y riesgo, lo que permitió estimar las proporciones óptimas de inversión en un portafolio diversificado. Finalmente, se ejecutó el modelo de Markowitz para analizar la eficiencia de las combinaciones de activos seleccionadas.

Fecha	BITCOIN	BNB	CARDANO	LITECOIN	ETHER
01-dic-19	7,193.60	13.73	0.032845	41.34	129.61
01-ene-20	9,350.53	18.21	0.053793	67.88	180.16
01-jul-24	64,619.25	576.37	0.388773	70.19	3,231.30
01-ago-24	58,969.90	532.9	0.345352	65.06	2,513.39
01-sep-24	63,329.50	567.26	0.373214	66.82	2,603.06
01-oct-24	70,215.19	576.03	0.341845	69.2	2,515.80
01-nov-24	98,997.66	633.51	1.010423	92.07	3,331.60

Figura 1: Datos de criptomonedas. Fuente: Elaboración propia.

Resultados

El análisis de los activos en términos de rendimiento, riesgo y eficiencia relativa proporciona información clave para la toma de decisiones en portafolios de inversión (figura 2). A partir de los datos obtenidos, se observa que Cardano (ADA) presenta el mayor rendimiento mensual esperado (13.85%), seguido de BNB (12.77%) y Ether (8.64%), mientras que Litecoin (3.73%) muestra el menor retorno esperado. Bitcoin (BTC), con un rendimiento del 6.45%, se encuentra en un nivel intermedio dentro del grupo de criptomonedas analizadas.

	BITCOIN	BNB	CARDANO	LITECOIN	ETHER
Rendimiento mensual esperado	6.45%	12.77%	13.85%	3.73%	8.64%
Varianza mensual	0.0399	0.2815	0.2847	0.0505	0.0654
Desviación estándar	19.99%	53.06%	53.36%	22.48%	25.57%
Coefficiente de variación	3.1010	4.1547	3.8531	6.0204	2.9609

Figura 2: Rendimiento, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación. Fuente: Elaboración propia.

En términos de riesgo, medido a través de la varianza y la desviación estándar (figura 2), Cardano y BNB presentan los niveles más elevados de volatilidad, con desviaciones estándar de 53.36% y 53.06%, respectivamente. En contraste, Bitcoin (19.99%) y Litecoin (22.48%) exhiben menor dispersión en sus rendimientos, sugiriendo una menor exposición al riesgo.

El coeficiente de variación (figura 2), que mide la cantidad de riesgo asumida por unidad de rendimiento esperado, revela que Litecoin (6.02) es la criptomoneda menos eficiente en términos de la relación riesgo-retorno, mientras que Ether (2.96) y Bitcoin (3.10) ofrecen una mayor eficiencia relativa. Este resultado implica que, si se prioriza la estabilidad en el desempeño, estos activos podrían ser opciones más atractivas dentro del portafolio.

En conjunto, estos hallazgos sugieren que, aunque Cardano y BNB ofrecen los mayores rendimientos, su elevada volatilidad podría representar un desafío para inversionistas con menor tolerancia al riesgo. En contraste, Bitcoin y Ether emergen como alternativas más balanceadas, combinando retornos moderados con una menor exposición a la incertidumbre.

Análisis de la Matriz de Covarianza de Rendimientos en Criptomonedas

La matriz de covarianza es un elemento clave en la construcción de portafolios eficientes, ya que permite evaluar la interdependencia de los rendimientos de los activos. En este análisis, se examinan las relaciones de varianza y covarianza entre Bitcoin (BTC), Binance Coin (BNB), Cardano (ADA), Litecoin (LTC) y Ether (ETH), con el objetivo de identificar patrones de co-movimiento que puedan influir en la optimización de portafolios de inversión.

La diagonal principal de la matriz de covarianza (figura 3), refleja la varianza de cada activo, que mide la dispersión de sus rendimientos con respecto a su media. En este contexto, BNB (0.2815) y Cardano (0.2847) presentan las varianzas más altas, lo que indica una elevada volatilidad y, por lo tanto, un mayor nivel de riesgo asociado a estos activos. Por otro lado, Bitcoin (0.0399) y Ethereum (0.0654) exhiben varianzas significativamente menores, lo que sugiere una menor dispersión de sus rendimientos y, en consecuencia, un riesgo relativo inferior. En cuanto a Litecoin (0.0505), su varianza refleja un comportamiento de volatilidad intermedia, situándose entre los activos más volátiles, como BNB y Cardano, y los de menor volatilidad, como Bitcoin y Ethereum.

	BITCOIN	BNB	CARDANO	LITECOIN	ETHER
BITCOIN	0.039944	0.045511	0.058146	0.034259	0.038112
BNB	0.045511	0.281485	0.201199	0.048773	0.042312
CARDANO	0.058146	0.201199	0.284722	0.057601	0.066098
LITECOIN	0.034259	0.048773	0.057601	0.050546	0.039697
ETHER	0.038112	0.042312	0.066098	0.039697	0.065406

Figura 3: Matriz de covarianza. Fuente: Elaboración propia.

La covarianza entre los activos refleja cómo se mueven conjuntamente en el tiempo. Cuando los activos tienen una covarianza positiva, esto indica que tienden a moverse en la misma dirección. Por el contrario, una covarianza negativa (que no se presenta en este caso) indicaría que los activos tienden a moverse en direcciones opuestas.

Bitcoin muestra una alta covarianza con Cardano y BNB, lo que sugiere que estos activos tienden a fluctuar de manera similar en términos de precios. Esto implica que los movimientos de precio de Bitcoin y estos activos están correlacionados, lo que puede influir en su comportamiento conjunto en el mercado. En cambio, la relación de Bitcoin con Ether y Litecoin es relativamente menor, lo que indica una dependencia más baja en los rendimientos de estos activos con respecto a Bitcoin.

La covarianza más significativa se observa entre BNB y Cardano, lo que implica que ambos activos tienden a experimentar movimientos de precios muy similares. Esta fuerte correlación puede explicarse por factores comunes en su adopción, así como la demanda similar que ambos activos tienen dentro del ecosistema de criptomonedas. El comportamiento conjunto de estos activos podría ser el resultado de una influencia común del mercado o de tendencias compartidas en la percepción de los inversores.

Por su parte, Ether presenta la menor covarianza con Litecoin, lo que sugiere que estos activos podrían ofrecer un cierto grado de diversificación dentro de un portafolio. A pesar de esta relación relativamente débil, Ether mantiene una relación significativa con Cardano, lo que indica que pueden compartir algunos factores comunes que influyen en su comportamiento en el mercado.

Las implicaciones de estas covarianzas para la construcción de portafolios de criptomonedas son claras. Los activos con alta covarianza, como BNB y Cardano, pueden generar un riesgo agregado mayor si se incluyen en proporciones similares dentro de un portafolio. Dado que estos activos se mueven de manera similar, la diversificación se vería limitada y el riesgo total del portafolio aumentaría. En cambio, Bitcoin y Ether, al tener un menor nivel de covarianza y varianza en comparación con otros activos, pueden funcionar como estabilizadores dentro de un portafolio, ayudando a mitigar el riesgo.

Asimismo, Litecoin y Ether presentan covarianzas más bajas entre sí, lo que puede hacerlos activos atractivos desde la perspectiva de diversificación, ya que la inclusión de activos con bajas correlaciones puede ayudar a reducir la volatilidad del portafolio global.

En resumen, la matriz de covarianza permite observar que los activos dentro de un portafolio de criptomonedas tienen dinámicas de co-movimiento diferentes. Esto abre la posibilidad de aplicar estrategias de optimización basadas en la teoría de portafolios de Markowitz, enfocándose en la diversificación para minimizar la volatilidad y maximizar el rendimiento. La selección adecuada de activos, basándose en la relación riesgo-rendimiento, permitirá construir un portafolio que se ajuste a los objetivos de inversión del perfil de riesgo de cada inversor.

Coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación de Pearson es una medida estadística que indica la dirección e intensidad de la relación lineal entre dos activos. Su valor varía entre -1 y 1, donde:

- 1 indica una correlación perfectamente positiva (los activos se mueven en la misma dirección).
- 0 indica ausencia de correlación (movimientos independientes).
- -1 indica una correlación perfectamente negativa (movimientos opuestos).

	BITCOIN	BNB	CARDANO	LITECOIN	ETHER
BITCOIN	1	0.442324	0.509396	0.754103	0.742707
BNB	0.442324	1	0.798056	0.416227	0.315043
CARDANO	0.509396	0.798056	1	0.457979	0.484080
LITECOIN	0.754103	0.416227	0.457979	1	0.684659
ETHER	0.742707	0.315043	0.484080	0.684659	1

Figura 4 Coeficiente de correlación. Fuente: Elaboración propia.

En este análisis, se evalúa la relación entre Bitcoin (BTC), Binance Coin (BNB), Cardano (ADA), Litecoin (LTC) y Ether (ETH), para comprender la dinámica de co-movimiento en la optimización de portafolios.

Relaciones Más Fuertes: Alta Correlación Positiva

Bitcoin y Litecoin (0.7541) presentan la correlación más alta del conjunto, lo que sugiere que ambos activos tienden a moverse en la misma dirección con gran intensidad.

Bitcoin y Ether (0.7427) también muestran una fuerte correlación positiva, indicando que estos dos activos comparten factores comunes en su comportamiento de mercado.

BNB y Cardano (0.7981) tienen la relación más significativa en términos de co-movimiento, lo que indica que sus variaciones de precios están altamente sincronizadas, posiblemente debido a su uso dentro del ecosistema DeFi (finanzas descentralizadas, por sus siglas en inglés, Decentralized Finance) y su adopción en plataformas de trading similares.

Correlaciones Moderadas: Relaciones Parcialmente Dependientes

Bitcoin y Cardano (0.5094) muestran una correlación moderada, lo que sugiere una relación positiva pero menos intensa. Litecoin y Ether (0.6847) presentan una relación considerable, aunque menor en comparación con BTC-LTC o BTC-ETH. Cardano y Ether (0.4841), así como Cardano y Litecoin (0.4579), indican una relación positiva, pero con menor sincronización en sus movimientos.

Correlaciones Más Débiles: Mayor Potencial de Diversificación

BNB y Ether (0.3150) tienen la correlación más baja del conjunto, lo que implica que sus movimientos son menos dependientes entre sí. BNB y Litecoin (0.4162) también presentan una relación baja, lo que sugiere que incluir ambos activos en un portafolio podría mejorar la diversificación.

Desde la perspectiva de la teoría de portafolios de Markowitz, la diversificación eficiente se logra combinando activos con baja o negativa correlación para reducir el riesgo sin comprometer el rendimiento esperado.

Los activos con alta correlación (BTC-LTC, BTC-ETH, BNB-ADA) pueden contribuir a mayores retornos en mercados alcistas, pero también implican mayor riesgo en mercados bajistas.

BNB y Ether tienen la correlación más baja, lo que sugiere que combinarlos en un portafolio podría reducir la volatilidad sin sacrificar excesivamente el rendimiento esperado.

Litecoin y Ether pueden actuar como estabilizadores dentro de un portafolio, dado que mantienen correlaciones positivas, pero no excesivamente altas con otros activos. Los resultados evidencian que, si bien la mayoría de las criptomonedas presentan correlaciones positivas, algunas combinaciones ofrecen oportunidades de diversificación. Un portafolio bien balanceado podría beneficiarse de la inclusión de activos con menor correlación para mitigar riesgos y mejorar la estabilidad del rendimiento.

Portafolios de inversión

La interpretación de estos portafolios de inversión bajo el Modelo de Markowitz se centra en la relación entre riesgo (desviación estándar) y rendimiento esperado para identificar cuáles portafolios son eficientes.

Portafolio	Riesgo	Rendimiento
Portafolio 1	22.48%	3.73%
Portafolio 2	22.89%	4.40%
Portafolio 3	23.70%	5.06%
Portafolio 4	24.86%	5.72%
Portafolio 5	26.34%	6.39%
Portafolio 6	28.07%	7.05%
Portafolio 7	30.02%	7.71%
Portafolio 8	32.14%	8.37%
Portafolio 9	34.41%	9.04%
Portafolio 10	26.04%	9.70%

Figura 5 Portafolios. Fuente: Elaboración propia.

Análisis General

1. Relación Riesgo-Rendimiento

En general, se observa una tendencia creciente: a medida que aumenta el riesgo, el rendimiento también se incrementa. Esto es consistente con la teoría del modelo de Markowitz, que establece que los inversionistas deben asumir un mayor riesgo para obtener mayores rendimientos.

Sin embargo, hay una excepción clara en el Portafolio 10, que tiene un riesgo de 26.045% pero ofrece el mayor rendimiento (9.699%). Esto sugiere que podría ser un portafolio más eficiente, ya que proporciona un rendimiento más alto con un riesgo menor que otros portafolios con rendimientos inferiores.

2. Eficiencia de los Portafolios

Los portafolios 1 al 9 siguen una estructura creciente de riesgo-rendimiento, lo que es esperable en la optimización de Markowitz.

El Portafolio 10 se destaca, ya que su rendimiento es superior a todos los demás, pero su riesgo es inferior a los portafolios 6, 7, 8 y 9.

Esto implica que algunos portafolios intermedios (como el 7, 8 y 9) podrían ser eficientes, ya que un inversionista podría obtener más rendimiento con menos riesgo eligiendo el Portafolio 10 en su lugar.

Portafolio 10 parece ser el más eficiente, ya que ofrece el mayor rendimiento con un nivel de riesgo moderado. Los portafolios con riesgos más altos pero menores rendimientos (como los Portafolios 7, 8 y 9).

Discusión

El modelo de Markowitz ha sido ampliamente utilizado en la teoría moderna de portafolios para maximizar el rendimiento esperado en función del riesgo asumido. Su aplicación al mercado de criptomonedas permite evaluar la eficiencia de los portafolios en un contexto de alta volatilidad y correlaciones dinámicas. Los resultados obtenidos en este estudio reflejan una tendencia creciente entre el riesgo y el rendimiento, lo que confirma la validez del modelo en la selección de activos digitales.

Sin embargo, el hallazgo de un portafolio con menor riesgo y mayor rendimiento en comparación con otros de mayor riesgo sugiere la existencia de ineficiencias en la diversificación de ciertos portafolios. Este resultado puede explicarse por la fuerte interdependencia entre algunas criptomonedas, lo que genera efectos no capturados completamente por la metodología de media-varianza. Investigaciones previas han señalado que la volatilidad de los cryptoactivos puede generar anomalías en la optimización de portafolios, afectando la distribución eficiente de los pesos asignados a cada activo.

Además, la estabilidad de los portafolios optimizados bajo Markowitz en mercados altamente especulativos sigue siendo una cuestión debatida. A diferencia de los activos tradicionales, las criptomonedas están sujetas a eventos exógenos, como regulaciones gubernamentales, cambios en la adopción tecnológica y fluctuaciones extremas de mercado, que pueden modificar drásticamente la eficiencia de un portafolio en periodos cortos de tiempo. Por ello, aunque el modelo de Markowitz provee un marco sólido para la diversificación de inversiones en criptomonedas, su aplicación debe ser complementada con análisis de riesgo más dinámicos, como modelos GARCH o simulaciones Monte Carlo.

En términos prácticos, los hallazgos de este estudio pueden ser utilizados por inversionistas institucionales y minoristas interesados en optimizar su exposición al mercado de criptomonedas. La identificación de portafolios que no son eficientes subraya la necesidad de una evaluación periódica de los activos incluidos en el portafolio, considerando no solo la volatilidad histórica sino también la evolución del mercado en tiempo real.

Conclusiones

El presente estudio ha permitido alcanzar los objetivos planteados en la investigación. Se determinaron los rendimientos esperados, la varianza y el coeficiente de variación de las criptomonedas analizadas, proporcionando un panorama detallado sobre su comportamiento en términos de rentabilidad y riesgo. Asimismo, se estimaron las proporciones óptimas de inversión mediante la aplicación del modelo de Markowitz, logrando construir un portafolio diversificado basado en la optimización de la relación riesgo-retorno.

Los resultados obtenidos permiten contrastar la hipótesis planteada en este estudio. Se demostró que, mediante el modelo de Markowitz, es posible diseñar un portafolio óptimo que equilibre el riesgo y el rendimiento. Sin embargo, la optimización estuvo condicionada por la volatilidad de los activos, lo que influye directamente en la composición del portafolio. En este sentido, se observó que, si bien Cardano (ADA) y BNB presentaron los mayores rendimientos esperados, también exhibieron la mayor volatilidad, lo que los convierte en opciones de alto riesgo. Por otro lado, Bitcoin (BTC) y Ether (ETH) destacaron por su menor coeficiente de variación, indicando una mejor eficiencia en la relación riesgo-retorno.

El análisis de la matriz de covarianza y del coeficiente de correlación reveló que ciertos activos, como BNB y Cardano, presentan una alta correlación positiva, lo que sugiere que se mueven en la misma dirección y, por lo tanto, pueden incrementar el riesgo agregado si se combinan en proporciones similares dentro del portafolio. En contraste, Bitcoin y Ether, al mostrar una menor covarianza con otros activos, emergieron como opciones clave para mitigar la volatilidad general del portafolio.

El modelo de Markowitz permitió construir combinaciones eficientes de activos, demostrando que la diversificación sigue siendo una estrategia válida incluso en mercados altamente volátiles como el de las criptomonedas. No obstante, es importante considerar que la dinámica del mercado cripto está influenciada por factores exógenos que pueden alterar sus patrones de riesgo y rendimiento, lo que enfatiza la necesidad de realizar ajustes constantes en la estrategia de inversión. En conclusión, el estudio confirma que la aplicación del modelo de Markowitz facilita la optimización del portafolio de criptomonedas, permitiendo maximizar la rentabilidad esperada bajo un esquema de gestión de riesgo controlado.

Finalmente, futuras investigaciones podrían ampliar el análisis incorporando un mayor número de criptomonedas o considerando períodos de crisis y expansión del mercado para evaluar la resiliencia de los portafolios

optimizados. Además, el estudio podría complementarse con comparaciones entre la eficiencia del modelo de Markowitz y otros enfoques alternativos, como la teoría de portafolios basada en entropía o modelos de optimización robusta.

Referencias

- Aguiar, A., & Zambujal-Oliveira, J. (2021). *Tecnologias de Informação de Suporte às Criptomoedas* (ISBN 978-972-97787-5-9).
- Alamaren, A. S., Gokmenoglu, K. K., & Taspinar, N. (2024). Volatility spillovers among leading cryptocurrencies and US energy and technology companies. *Financial Innovation*, 10(81). <https://doi.org/10.1186/s40854-024-00626-2>
- AlMadany, N. N., Hujran, O., Al Naymat, G., & Maghyereh, A. (2024). Forecasting cryptocurrency returns using classical statistical and deep learning techniques. *International Journal of Information Management Data Insights*, 4(2), 100251. <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2024.100251>
- Benazco, J. W., & García, G. (2021). Proyecto Cardano, tercera generación de criptomonedas. Universidad de La Laguna. <http://riull.uil.es/xmlui/handle/915/24719>.
- Blanc-Blocquel, A., Ortiz-Gracia, L., & Oviedo, R. (2024). Efficient likelihood estimation of Heston model for novel climate-related financial contracts valuation. *Mathematics and Computers in Simulation*, 225, 430-445. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2024.05.024>
- Bouri, E., Shahzad, S. J. H., & Roubaud, D. (2020). Cryptocurrencies as hedges and safe-havens for US equity sectors. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 75, 294-307. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2019.05.001>
- Balqis, V. P., Subiyanto, S., & Supian, S. (2021). Optimizing stock portfolio with Markowitz method as a reference for investment community decisions. *International Journal of Research and Community Service*, 2(2). <https://doi.org/10.46336/ijrcs.v2i2.213>
- Demmler, M., (2023). Leading Cryptocurrencies Between 2019 and 2021: Analysis of Market Prices and Portfolio Design. *Análisis Económico*, XXXVIII(99), 145-165. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcs/ae/2023v38n99/Demmler>
- Escobar, C. A., & León, J. A. (2022). Estructuración de portafolios mediante el modelo de Markowitz: Análisis comparativo del Mercado Integrado Latinoamericano, MILA (Tesis de maestría). Universidad EAFIT.
- Escobar, C. D., Avella, S. D., & Rojas, B. R. (2023). Analysis of Financial Assets in Colombia: Hedging Positions with Bitcoin. *Revista CEA*, 9(21), 1-23. <https://doi.org/10.22430/24223182.2481>
- Fantazzini, D. (2019). Risk premia and downside risk in Bitcoin and other cryptocurrencies. *Economics Letters*, 181, 53-59.
- Fernández-Navarro, F., Martínez-Nieto, L., Carbonero-Ruz, M., & Montero-Romero, T. (2021). Mean Squared Variance Portfolio: A Mixed-Integer Linear Programming Formulation. *Mathematics*, 9(3), 223.
- Guo, Q. (2022). Review of research on Markowitz model in portfolios. In *Proceedings of the 2022 7th International Conference on Social*

- Sciences and Economic Development (ICSED 2022). Atlantis Press.
<https://doi.org/10.2991/aebmr.k.220405.131>
- Hanif, A. (2021). Optimización de portafolio mediante el modelo de Markowitz. *The International Journal of Applied Business*, 5(1), 37-50.
<https://doi.org/10.20473/tijab.V5.I1.2021.37-50>
- Hu, M., Liu, Z., & Zhou, Y. (2024). Efficient post-quantum secure deterministic wallet scheme. *Cybersecurity*, 7(24).
<https://doi.org/10.1186/s42400-024-00216-w>
- Jeleskovic, V., Latini, C., Younas, Z. I., & Al-Faryan, M. A. S. (2024). Cryptocurrency portfolio optimization: Utilizing a GARCH-copula model within the Markowitz framework. *Journal of Corporate Accounting & Finance*, 35, 139–155. <https://doi.org/10.1002/jcaf.22721>
- Jaramillo Echeverry, L. (2021). Portafolios diversificados con criptomonedas y su respectivo riesgo de mercado. Universidad EIA.
- John, K., Monnot, B., Mueller, P., Saleh, F., & Schwarz-Schilling, C. (2025). [Título del artículo]. *Revista de Finanzas Corporativas*, 91, 102718. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2024.102718>
- Ma, Y., Ahmad, F., Liu, M., & Wang, Z. (2020). Portfolio optimization in the era of digital financialization using cryptocurrencies. *Technological Forecasting and Social Change*, 161, 120265. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120265>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- Nguyen, B. K. Q., & Pham, D. T. N. (2025). Investing during a fintech revolution: The hedge and safe haven properties of Bitcoin and Ethereum. *Research in International Business and Finance*, 73(A), 102599. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102599>
- Rula, A. (2022). Optimización de portafolios en el índice IDX30 con el modelo de Markowitz. *International Journal of Quantitative Risk Management*, 3(4). <https://doi.org/10.46336/ijqrm.v3i4.358>
- Valencia, J. P. (2024). Optimización del portafolio de clientes: Caso aplicado a una empresa industrial colombiana (Tesis de maestría). Universidad EAFIT.
- Vidal-García, J., & Vidal, M. (2024). Una nota sobre el modelo de Markowitz. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3461392>
- World Economic Forum. (2022, 21 de noviembre). ¿Es la criptomoneda el futuro de las finanzas? Esto es lo que muestra un nuevo estudio. World Economic Forum.
- Zhang, M., Zhu, B., & Li, Z. (2024). Relationships among return and liquidity of cryptocurrencies. *Financial Innovation*, 10(3). <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00532-z>