

**MODELO DE ESTRUCTURACIÓN DE PORTAFOLIOS CON CRIPTOMONEDAS,
OPTIMIZADO BAJO LOS PARÁMETROS DE MARKOWITZ, CAPM Y
MONTECARLO**

NICOLE ANDREA ALVARADO ACOSTA

SALMA PAOLA MORENO CARDONA

TUTOR: JULIÁN JAVIER TENJO LEAL

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA FINANCIERA

BOGOTÁ D.C

2025

Agradecimientos

Quiero agradecer este trabajo principalmente a Dios porque él me ha dado la fortaleza, el conocimiento y la perseverancia para alcanzar esta meta, además de darme la fe en él para poder creer en mí en que puedo asumir cualquier reto. A mis padres porque sin ellos este sueño de estudiar no habría sido posible, gracias por su amor, por siempre creer en mí y apoyarme en todo momento, estoy demasiado agradecida por esos esfuerzos que hicieron por mí, todo eso ha sido una inspiración grande para poder superar cada obstáculo que tenga en la vida. A mi hermano por todo el apoyo que dio, por motivarme cada día a seguir estudiando en lo que me gusta. Finalmente, pero no menos importante quiero agradecerle a mi tutor por su paciencia, su motivación, sus palabras de aliento y su dedicación para asegurar el mejor aprendizaje de esta hermosa carrera.

Salma Paola Moreno Cardona.

Quiero agradecer por este logro principalmente a mi mamá, que con todos sus esfuerzos logro que hoy este culminando una etapa más en mi vida, darle las gracias por ser mi motor principal en la vida, y enseñarme todo lo que soy. Doy las gracias a mi Familia por sus mensajes de apoyo y las videollamadas de Jerónimo por las mañanas, a mi pareja por los consejos y la compañía a lo largo de este proceso. Por último, quiero darle las gracias a mi tutor por su compromiso al realizar este proyecto, gracias por ser un gran docente y siempre lograr sacar mi mejor versión en mi etapa de estudiante, lo admiro por lo que ha logrado y lo que puede lograr, y sobre todo por enseñarme el amor por la Ingeniería Financiera.

Nicole Andrea Alvarado Acosta.

Tabla de Contenidos

Resumen	7
Introducción	9
Planteamiento del Problema	11
Justificación	13
Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos.....	14
Capítulo 1. Marco Teórico	15
1.1 Antecedentes	15
1.2 Optimización de Portafolio.....	15
<i>1.2.1 Capital Asset Pricing Model (CAPM)</i>	<i>16</i>
<i>1.2.2 Markowitz.....</i>	<i>17</i>
<i>1.2.3 Monte Carlo</i>	<i>18</i>
1.3 Medidas de rentabilidad	19
<i>1.3.1 Retorno Anualizado</i>	<i>19</i>
<i>1.3.2 Alpha</i>	<i>20</i>
<i>1.3.3 Volatilidad Anualizada</i>	<i>21</i>
<i>1.3.4 Beta.....</i>	<i>22</i>
<i>1.3.5 Tracking error.....</i>	<i>23</i>
<i>1.3.6 Sharpe ratio.....</i>	<i>24</i>
<i>1.3.7 Information Ratio</i>	<i>25</i>
Capítulo 2. Marco Referencial.....	26
2.1 Bitcoin.....	26
2.2 Tipos de criptomonedas	28
<i>2.2.1 Altcoins.....</i>	<i>28</i>
<i>2.2.2 Stablecoins</i>	<i>29</i>
<i>2.2.3 Memecoins</i>	<i>30</i>
2.3 Exchange	31
<i>2.3.1 Exchange Centralizadas.....</i>	<i>31</i>

2.3.2 <i>Exchange no centralizadas</i>	32
2.4 Negociación de las Criptomonedas	32
2.5 Monederos digitales.....	33
2.5.1 <i>Monederos Calientes</i>	33
2.5.2 <i>Monederos Fríos</i>	33
2.6 Finanzas Descentralizadas (DeFi).....	34
2.7 Índice Bursátil y Benchmark	37
2.7.1 <i>Índice Bursátil</i>	38
2.7.2 <i>Benchmark (BMK)</i>	40
Capítulo 3. Marco Regulatorio	41
Capítulo 4. Metodología	43
4.1 Selección de Criptomonedas.....	43
4.2 Perfil de Riesgo	44
4.2.1 <i>Perfil Conservador</i>	44
4.2.2 <i>Perfil Moderado</i>	44
4.2.3 <i>Perfil Alto Riesgo</i>	45
4.3 Encuesta Perfil de Riesgo	45
4.4 Métricas de Optimización.....	46
4.5 Solver dinámico y Optimización	48
4.5.1 <i>Restricciones solver</i>	48
4.5.2 <i>Optimización</i>	49
4.6 Inversión.....	50
Capítulo 5. Resultados	52
5.1 Perfil de Riesgo Conservador.....	52
5.1.1 <i>Modelo Markowitz</i>	52
5.1.2 <i>Modelo CAPM</i>	52
5.1.3 <i>Modelo Montecarlo</i>	53
5.2 Perfil de Riesgo Moderado	53
5.2.1 <i>Modelo Markowitz</i>	53
5.2.2 <i>Modelo CAPM</i>	53
5.2.3 <i>Modelo Montecarlo</i>	54

5.3 Perfil de Riesgo Alto Riesgo	54
5.3.1 Modelo Markowitz	54
5.3.2 Modelo CAPM	54
5.3.3 Modelo Montecarlo	55
5.4 Análisis de los resultados	55
Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones	57
6.1 Conclusiones	57
6.2 Recomendaciones	58

Lista de Tablas

<i>Tabla 1: Rentabilidades Perfil de Riesgo</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 2: Monedas asignadas según el perfil de riesgo</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 3: Preguntas encuesta</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 4: Puntaje perfil de riesgo</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 5: Restricción mínima en la ponderación</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 6: Conservador-Markowitz.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 7: Conservador- CAPM.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 8: Conservador – Montecarlo</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 9: Moderado- Markowitz.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 10: Moderado - CAPM.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 11: Moderado – Montecarlo</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 12: Alto Riesgo- Markowitz.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 13: Alto Riesgo- CAPM.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 14: Alto Riesgo- Montecarlo</i>	<i>55</i>

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Lista de Métricas	47
Gráfico 2: Formulario de Métricas.....	47
Gráfico 3: Ponderación por modelos.....	49
Gráfico 4: Valor de inversión	50
Gráfico 5: Distribución de la inversión.....	50
Gráfico 6 : Nueva consulta.....	51

Resumen

En base a el conocimiento de los inversionistas con relación a las criptomonedas, se evidencia una escases de herramientas que les permitan tomar mejores decisiones, basado en un modelo de optimización idóneo en el momento de estructurar un portafolio de activos digitales, siendo así el principal objetivo de esta investigación, teniendo en cuenta que, al no existir una herramienta idónea para la ejecución de las optimizaciones, los inversionistas no tienen una base fundamentada para saber cuáles son los mejores activos para invertir.

Este proyecto se enfoca en diseñar un modelo de optimización que no solo busque maximizar el retorno, sino que tenga en cuenta el perfil de riesgo de cada inversionista, para ello se pretende realizar un modelo automatizado de optimización de portafolios para obtener una inversión que cumpla con el objetivo de obtener una máxima rentabilidad con un mínimo riesgo, teniendo en cuenta que el mercado de las criptomonedas es altamente volátil.

El proyecto se basa en el uso de los siguientes modelos de rentabilidad esperada: Markowitz, CAPM y Montecarlo, cada uno de estos modelos tiene en cuenta el Nasdaq Crypto Index (NCI) como benchmark. Los resultados correspondientes se comparan para llegar a la mejor elección de modelo para la inversión.

Lo anterior se automatiza en un modelo programado en Visual Basic for Applications (VBA) donde se tiene en cuenta el perfil de riesgo del inversionista, la cartera de criptomonedas y el modelo idóneo para así tener los resultados correspondientes la inversión.

Palabras claves: Modelos financieros, Perfil de Riesgo, Retorno Esperado, Riesgo Financiero, Optimización de portafolios, Criptomonedas, Bitcoin, Finanzas descentralizadas y Benchmark

Abstract

Based on investors' knowledge of cryptocurrencies, there is a clear lack of tools that enable them to make better decisions based on an optimal model when structuring a digital asset portfolio. This is the main objective of this research, considering that, in the absence of a suitable tool for executing optimizations, investors do not have a sound basis for knowing which are the best assets to invest in.

This project focuses on designing an optimization model that not only seeks to maximize returns but also takes into account each investor's risk profile. To this end, the aim is to create an automated portfolio optimization model to obtain an investment that meets the objective of maximizing returns with minimum risk, taking into account that the cryptocurrency market is highly volatile.

The project is based on the use of the following expected return models: Markowitz, CAPM, and Monte Carlo, each of which takes the Nasdaq Crypto Index (NCI) as a benchmark. The corresponding results are compared to arrive at the best model choice for investment.

This is automated in a model programmed in Visual Basic for Applications (VBA) that takes into account the investor's risk profile, the cryptocurrency portfolio, and the ideal model in order to obtain the corresponding investment results.

Keywords: Financial models, Risk profile, Expected return, Financial risk, Portfolio optimization, Cryptocurrencies, Bitcoin, Decentralized finance, and Benchmark

Introducción

La transformación digital, evolución de los mercados financieros y el crecimiento del mercado de las criptomonedas ha generado una transformación importante en la forma en que los inversionistas perciben los activos financieros tradicionales, la aparición de estos nuevos instrumentos ha impulsado la necesidad de diversificar las oportunidades de inversión y desarrollar estrategias que incluyan a los activos digitales dentro de los portafolios. Gracias a su alta volatilidad, a su baja correlación con otros activos y su descentralización, las criptomonedas representan un desafío para la gestión del riesgo, el pronóstico de los precios y la estabilidad en los retornos esperados, estos factores hacen necesario una estructuración de portafolio con el uso de modelos cuantitativos que permite optimizar la relación riesgo-retorno, garantizando seguridad, eficiencia y adaptabilidad frente a las condiciones cambiantes del mercado.

Entendiendo esto, este proyecto propone diseñar y desarrollar un portafolio de criptomonedas mediante la aplicación de modelos de optimización tales como el modelo de Markowitz, el modelo de valoración de Activos de Capital (CAPM) y el método de Monte Carlo, estos modelos fueron seleccionados por su capacidad de estimar la rentabilidad esperada, cuantificar la exposición al riesgo y evaluar la eficiencia de las combinaciones de activos, generando así una herramienta fuerte para la toma de decisiones financiera fundamentada en criterios objetivos.

Por último, este proyecto incorpora la automatización del modelo mediante el uso de Visual Basic for Applications (VBA) con el propósito de agilizar la ejecución del modelo, reducir errores y adaptar las simulaciones a las preferencias del inversionista, de esta manera se contribuye con el desarrollo de herramientas financieras innovadoras que fortalecen el análisis cuantitativo del

mercado de criptoactivos y promueven una gestión de inversiones más informadas y alineadas con los nuevos activos digitales

Planteamiento del Problema

En los últimos años el mercado de las criptomonedas ha experimentado un crecimiento acelerado, generando nuevas oportunidades de inversión y fomentado la diversificación de portafolios, sin embargo, este crecimiento ha traído consigo elevados niveles de volatilidad, una falta de regulación en varios países y una complejidad técnica considerable en su funcionamiento, factores que han dificultado la gestión del riesgo y la toma de decisiones financieras sobre estos activos digitales.

Un informe de Bloomberg Línea (2023), revela que el 61% de los colombianos no muestra interés en los criptoactivos, principalmente por la desconfianza y el desconocimiento sobre su uso. Esta falta de conocimiento sumada a la ausencia de herramientas que oriente a la toma de decisiones en el ámbito de inversiones digitales evidencia la necesidad de implementar metodologías cuantitativas que ayuden a los inversionistas a estructurar portafolios eficientes, seguros y rentables, optimizando la relación riesgo retorno.

Frente a esta problemática surge la necesidad de diseñar un modelo de optimización de portafolios de criptomonedas que incorporen los principios de la teoría moderna de los portafolios y las herramientas utilizadas en las fianzas tradicionales como los modelos Markowitz, CAPM y Monte Carlo, aquel modelo busca analizar y equilibrar la relación riesgo y rentabilidad, considerando el perfil de riesgo del inversionista y las características del mercado de criptoactivos. Debido a esto, surge la siguiente pregunta: ¿Cuál es el modelo de optimización más adecuado, basado en el perfil de riesgo del inversionista, para maximizar el retorno y disminuir el riesgo en un portafolio de Criptomonedas?

La solución a esto permite fortalecer la toma de decisiones financieras, haciéndola más informada, segura y alienada con los desafíos de la economía digital, así contribuyendo al desarrollo de estrategias de inversión más eficiente.

Justificación

Este trabajo se realiza con el propósito de diseñar y construir una herramienta que optimice la estructuración de inversiones en criptomonedas, respondiendo a una necesidad de los inversionistas interesados en contar con un modelo que les permita gestionar de manera eficiente, segura el riesgo y la rentabilidad en un mercado altamente volátil. Por ende, este proyecto plantea una solución práctica y automatizada que reduce el tiempo que toma el proceso de análisis de resultados, la elección de activos y la gestión del riesgo, facilitando así la identificación de combinaciones óptimas de activos digitales y la estrategia de inversión adaptadas al perfil de riesgo, garantizando un equilibrio adecuado a lo que la persona quiera.

El proyecto contribuye a la ingeniería financiera mediante la creación de una herramienta útil, eficiente e innovadora orientada a optimizar las estrategias de inversión y la gestión de riesgo en portafolios de criptomonedas. La automatización del modelo no solo mejora la precisión y la eficiencia de los cálculos, sino que también fortalece la capacidad analítica y estratégica del usuario al momento de interpretar los resultados obtenidos.

Finalmente, el proyecto busca aportar al avance de la ingeniería financiera mediante la integración de nuevas herramientas de portafolio y ofreciendo un modelo que mejore la eficiencia, seguridad y adaptabilidad de las inversiones en el mercado de los cryptoactivos.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un modelo automatizado de optimización de portafolios de Criptomonedas para buscar el máximo retorno según el perfil de riesgo del inversionista, utilizando los modelos de Markowitz, CAPM y Montecarlo.

Objetivos Específicos

- Investigar los principales referentes teóricos de los modelos de rentabilidad esperada y el mercado de criptomonedas.
- Recopilar los precios históricos de los últimos 3 años de 15 criptomonedas diferentes para que de acuerdo con el perfil de riesgo del inversionista se le asigne una cartera específica.
- Diseñar un modelo de optimización automatizado programado en Visual Basic for Applications (VBA) para reducir el tiempo de la estructuración del portafolio de inversión.
- Analizar los resultados obtenidos de los modelos optimizados para llegar a la ponderación ideal de acuerdo con el perfil de riesgo del inversionista.

Capítulo 1. Marco Teórico

En este capítulo se abordarán diversos temas relacionados con el proyecto como la teoría moderna de portafolio y las métricas para medir el riesgo y el retorno de una inversión.

1.1 Antecedentes

Se han realizado investigaciones referentes al tema, pero no llegan a un modelo concreto que se centre solo en criptoactivos. En el documento “Portafolios Diversificados con Criptomonedas y su respectivo riesgo de mercado” (Jaramillo Echeverry, 2021) se hace un análisis de un portafolio con criptomonedas y acciones, pero no se tiene en cuenta el perfil de riesgo del inversionista.

Cifuentes Quintero (2022) señala, si bien la inclusión de criptomonedas en un portafolio de renta variable puede aumentar el retorno esperado, al menos en el contexto de su análisis, este incremento no se logra reduciendo el nivel de riesgo asumido. Además, sugiere que sería pertinente realizar un estudio sectorial, ya que diferentes industrias podrían mostrar comportamientos particulares ante la incorporación de estos activos. Explorar estas dinámicas podría aportar hallazgos valiosos, dejando así abierta la posibilidad de futuras investigaciones en esta línea. Esto se tiene en cuenta como un punto de referencia para llevar a cabo el proyecto según los parámetros mencionados.

1.2 Optimización de Portafolio

La optimización de un portafolio de inversión tiene como propósito maximizar la rentabilidad y minimizar el riesgo, aunque la implementación de estas estrategias depende de las preferencias y objetivos individuales del inversor. Este proceso implica la selección cuidadosa y

la ponderación de los activos financieros, con el fin de lograr las metas de la inversión específicas del inversor.

Modelos de optimización de portafolios:

1.2.1 Capital Asset Pricing Model (CAPM)

El modelo CAPM es el más utilizado en el área financiera para determinar tasas de retorno con ciertos activos. Este modelo ha sido transformado por la teoría del portafolio de Harry Markowitz. En efecto, el CAPM busca maximizar la rentabilidad de cada activo de forma individual, permitiendo así la creación de un portafolio más rentable. Asimismo, se espera maximizar en la tangente de la línea de mercado, asegurando el apalancamiento sea igual a cero.

El modelo CAPM se basa en cinco supuestos:

1. Busca maximizar la utilidad esperada a lo largo del tiempo, tomando en cuenta el rechazo al riesgo
2. Existe un activo libre de riesgo en el mercado, con la tasa libre de riesgo.
3. Los activos negociados en el mercado son accesibles sin restricciones y no tiene costos de transacción.
4. Los rendimientos de los activos siguen una distribución normal.
5. Los errores estocásticos en las estimaciones de rendimiento tienen un valor esperado de cero.

Por último, “El CAPM toma en cuenta la sensibilidad del activo al riesgo no-diversificable, representado por el símbolo de Beta (β), así como también el retorno esperado del mercado y el retorno esperado de un activo teóricamente libre de riesgo” (Valderrama, 2014).

1.2.2 Markowitz

El modelo Markowitz permite optimizar la diversificación del portafolio, maximizando el rendimiento e igualmente minimizando el riesgo. El rendimiento de este portafolio es una variable aleatoria y su valor esperado se utiliza para cuantificar la rentabilidad de la inversión. Además, este modelo considera la varianza o la desviación estándar como una medida de la dispersión y el riesgo asociado con dicha variable aleatoria. Esta medición se realiza tanto para cada activo individualmente como para el portafolio.

El objetivo del modelo Markowitz es construir el portafolio que maximice el rendimiento para un nivel de riesgo definido. Esto implica considerar el riesgo asociado a cada acción para encontrar un balance óptimo entre el riesgo y retorno. Existen dos enfoques alternativos:

1. Determina la ponderación de los activos para maximizar el rendimiento, dando un nivel máximo de riesgo.
2. Determinar las ponderaciones de los activos para minimizar la varianza, sujeto a un rendimiento mínimo del portafolio.

En ambos enfoques, se considera las ponderaciones de los activos se determinar un máximo rendimiento por cada nivel de riesgo.

Es importante resaltar el inversor elige combinaciones de activos que se encuentran en la llamada contera eficiente que representa los portafolios óptimos. Sin embargo, en investigaciones realizadas no se encuentra ningún portafolio que ofrezca una mayor rentabilidad para un nivel dado de riesgo, ni uno que presente un menor riesgo para un nivel dado de rentabilidad. Con lo anterior se descarta todas las combinaciones de activos que se sitúa por debajo y a la derecha de la frontera eficiente.

1.2.3 Monte Carlo

El método de Monte Carlo es una técnica que usa conceptos estadísticos como lo son el muestreo aleatorio (Domínguez, 2015). Igualmente se encarga en calcular probabilidades y generar múltiples resultados de forma aleatoria, permitiendo así obtener una variedad resultados, sin embargo, es necesario tener en cuenta que este método es más adecuado para problemas con comportamiento de bajo riesgo. Como se mencionó anteriormente, este método simula posibles escenarios generando números aleatorios, lo que requiere la creación de una gran cantidad de escenarios.

En relación con lo anterior, es necesario comprender que este método tiene múltiples utilidades, no obstante, hablaremos de las tres más importantes:

1. Ayuda a generar diferentes escenarios para así producir en función el costo y plazos del proyecto que se realice
2. Crea y estudia el comportamiento de las opciones financieras
3. Se utiliza para gestionar el riesgo de las inversiones.

Este método ha sido una herramienta valiosa para la toma de decisiones financieras y en la planificación de proyectos, con el fin de ofrecer una perspectiva detallada y variada en los posibles resultados.

1.3 Medidas de rentabilidad

Para evaluar el rendimiento de una cartera en comparación con el Benchmark se utilizan diferentes métodos de cálculo, estas métricas permiten observar el desempeño de la inversión en relación con el índice de referencia, además que da una percepción más clara de su rentabilidad. Por lo cual, mostraremos las principales métricas que utilizaremos para medir la cartera:

1.3.1 Retorno Anualizado

Este concepto no tiene un autor en particular, ya que surgió de manera natural como respuesta a la necesidad de poder tener una herramienta que evalué y compare diferentes inversiones a lo largo de un periodo específico. Al pasar el tiempo se generaba una importancia de contar con métricas estandarizadas.

El retorno anualizado es una métrica financiera con el objetivo de calcular el rendimiento promedio de una inversión a un plazo determinado, su principal propósito es facilitar la comparación de las diferentes inversiones dependiendo del periodo que se haya realizado. al tener la rentabilidad es importante expresarla en términos porcentuales anuales para estandarizar la información. Esta métrica no solo compara, sino que también tiene una percepción más clara del desempeño de un activo, por lo tanto, el retorno anualizado es muy importante para la toma de decisiones ya que refleja de una manera simplificada las ganancias o las pérdidas.

Para calcular el retorno anualizado, la fórmula que se utilizará será la siguiente:

$$R_{anualizado} = (1 + R_{total})^{\frac{1}{n}} - 1$$

Donde:

- R_{total} : Rentabilidad acumulada en el período
- n : número de años

1.3.2 Alpha

Esta medida de rendimiento fue desarrollada por el economista Michael Jensen en 1968 con el objetivo de calcular el rendimiento de las inversiones tomando en consideración el riesgo asumido. Por ende, la medida se utiliza hoy en día para evaluar el rendimiento de una cartera en relación con el índice de referencia o benchmark. Su fundamento se sustenta en el modelo de valoración de activos de capital (CAPM).

Cuando el Alpha es positivo es una gestión eficiente, ya que la rentabilidad supera lo esperado según el riesgo asumido, en cambio, si Alpha es negativo es un rendimiento inferior al esperado. La mayoría de los inversionistas opta por esta medida dado que permite identificar si una cartera ha generado una rentabilidad adicional superior al índice de referencia al índice de referencia.

La fórmula utilizada es:

$$\alpha = R_p - [R_f + \beta(R_m - R_f)]$$

Donde:

- R_p : Retorno del portafolio.
- R_m : Retorno del mercado
- R_f : Tasa libre de riesgo

1.3.3 Volatilidad Anualizada

La volatilidad no fue desarrollada por una sola persona puesto que se trata de un concepto estadístico utilizado para medir cuanto varía el precio de un activo a lo largo del tiempo, además es empleada como indicador de riesgo. En general una volatilidad baja se considera favorable porque suele tener menor riesgo en comparación con inversiones más volátiles.

Esta medida estadística al expresarse en términos porcentuales permite comprar distintos activos o carteras en cuenta al riesgo y rendimiento, también ayuda a tener unas estimaciones sobre el comportamiento de un activo durante un periodo de tiempo determinado asumiendo en una distribución normal. Por último, al calcular la volatilidad anualizada se puede optimizar la relación entre el nivel de riesgo asumido y el rendimiento esperado, esto con el propósito que el inversionista tome una decisión.

La volatilidad mide cuanto fluctúa el rendimiento a lo largo de un año, también es la desviación estándar anualizada y se calcula:

$$\sigma_{anualizada} = \sigma_{diaria} \times \sqrt{252}$$

Donde:

- σ_{diaria} : Desviación estándar de los retornos diarios.

1.3.4 Beta

Esta medida de riesgo fue desarrollada del modelo CAPM con el objetivo de encontrar un número que pudiera medir el riesgo de mercado y al mismo tiempo pudiera calcular la rentabilidad de una inversión, teniendo en cuenta esto, el Beta ha servido demasiado para evaluar la volatilidad de un activo en comparación con el riesgo del mercado, Gráficamente se representa como la pendiente de la línea obtenida mediante una regresión de puntos, donde cada punto representa la rentabilidad que tiene la acción frente al mercado.

Cuanto mayor sea la beta, mayor será el riesgo que tiene el inversionista

- Beta = 1 significa que el precio se correlaciona con el mercado.
- Beta < 1 señala que el valor es menos volátil que en el mercado
- Beta > 1 muestra que el precio del valor es más volátil que en el mercado
- Beta Negativo significa que la acción tiene una correlación inversa con el índice de referencia.

Para poder calcular el valor de la beta utilizaremos esta fórmula:

$$\beta = \frac{Cov(R_p, R_m)}{Var(R_m)}$$

- R_p : Retorno del portafolio
- R_m : Retorno del mercado

1.3.5 Tracking error

Esta medida se empezó a utilizar con el desarrollo de la gestión pasiva, cuando se crearon los primeros fondos indexados. A partir de allí, los administradores de portafolio comenzaron a necesitar una métrica para evaluar si sus fondos seguían al índice, así nació el tracking error como una solución estadística para medir la efectividad del seguimiento de un Benchmark.

El tracking error mide la diferencia que se da entre el activo y el índice de referencia, es decir tan cerca esta la rentabilidad respecto a la del Benchmark, además se puede usar como límite de riesgo frente a este y reflejar cuando se separa respecto al comportamiento del mercado. Si el tracking error es alto indica una mayor desviación del índice con esto implica un mayor riesgo activo, pero también una mayor posibilidad de generar rentabilidad adicional.

Al interpretar esta medida es necesario saber si el tracking error está por encima del 5% corresponde a una gestión activa, esto significa que se busca superar al Benchmark mediante decisiones de inversión diferenciadas, en cambio si esta entre el 0% y el 2% son inversiones de gestión pasiva esta se enfoca en replicar el comportamiento del índice con mínimas desviaciones. En otras palabras, cuando sea menor el tracking error mayor será la confianza del portafolio y menor es el riesgo del activo.

La fórmula que generalmente se utiliza es:

$$Tracking\ Error = \sqrt{Var(R_p - R_b)}$$

Donde

- R_p : Retorno del portafolio

- R_b : Retorno del benchmark

1.3.6 Sharpe ratio

El índice de Sharpe fue desarrollado por el economista William F. Sharpe en el año de 1960, con el propósito de comparar fondos de inversión considerando tanto la rentabilidad como el riesgo, este indicador permite que se pueda evaluar el desempeño ajustado al riesgo de una inversión, mostrando cuanto rendimiento adicional se obtiene por cada unidad de riesgo asumido.

Un Sharpe Ratio alto indica un mejor desempeño ajustado al riesgo, lo que significa que la inversión está generando una rentabilidad superior en relación con la volatilidad, por el contrario si el Sharpe ratio bajo sugiere que la inversión no equilibra adecuadamente el riesgo con la rentabilidad mostrando un rendimiento insuficiente frente a la variabilidad del mercado.

Este índice permite comparar y evaluar portafolios según el rendimiento obtenido por cada unidad de riesgo asumido, también sirve para determinar si la rentabilidad compensa el riesgo y el portafolio con el mayor Share Ratio se considera el más eficiente, al maximizar el rendimiento ajustado al riesgo.

Teniendo en cuenta lo anterior la fórmula para calcularla es:

$$Sharpe = \frac{R_p - R_f}{\sigma_p}$$

Donde:

- R_p : Retorno promedio del portafolio
- R_f : Tasa libre de riesgo.
- σ_p : Volatilidad del portafolio

1.3.7 Information Ratio

Information Ratio (IR) se desarrolló en la década de 1980 y 1990 teniendo en cuenta del avance de la teoría moderna de portafolios y el modelo de Share con el objetivo de evaluar la gestión activa frente a un Benchmark. Con el tiempo, este concepto se formalizo y se relacionó con el concepto de Information Coefficient (IC), por eso se considera que el Information Ratio es una evolución practica del Sharpe Ratio adaptada a estrategias de gestión activa.

El Information Ratio mide la rentabilidad adicional de una cartera respecto a su índice de referencia, ajustada por el riesgo activo asumido; En otras palabras, indica cuenta rentabilidad extra genera el gestor por cada unidad de riesgo activo frente al Benchmark. Un IR alto refleja que el gestor genera valor de forma consistente, mientras que un IR bajo sugiere que la rentabilidad obtenida no compensa el riesgo activo asumido.

Esta medida resulta especialmente útil para evaluar la calidad de la gestión activa, ya que permite distinguir que gestores obtiene un mejor desempeño ajustado al riesgo activo, y no simplemente al riesgo total del portafolio.

Su fórmula es:

$$I R = \frac{R_p - R_b}{Tracking Error}$$

Donde:

- R_p : Retorno del portafolio.
- R_b : Retorno del benchmark

Capítulo 2. Marco Referencial.

En este capítulo, se encuentran las criptomonedas, su concepto y cómo funcionan mediante la tecnología blockchain. Primero se conocerá la historia y las características de la criptomoneda más conocida que es el Bitcoin. Segundo se analizará los diferentes tipos de criptomonedas tales como las altcoins, stablecoins y memecoins. En tercer lugar, entenderemos cómo operan las plataformas de intercambio (Exchanges), diferenciando entre las centralizadas y no centralizadas, y cómo se almacenan las criptomonedas en los monederos digitales (Wallets). Además, se conocerá las finanzas descentralizadas (DeFi), sus aplicaciones y su evolución a lo largo de sus diferentes versiones.

Las criptomonedas son monedas digitales que facilitan las operaciones y transacciones de pago para bienes, servicios o intercambio. Es importante saber que las criptomonedas existen únicamente en el medio virtual, su creación se basa en la tecnología de cadenas de bloques lo que proporciona una base sofisticada y segura. No obstante, existen varias tecnologías de blockchain que pueden ser utilizadas. Además, estas no se limitan solo funcionar como dinero digital, sino que tiene una variedad de propósitos y pueden tener diferentes enfoques de desarrollo.

2.1 Bitcoin

El Bitcoin fue la primera criptomoneda creada y las más reconocida en la actualidad, fue desarrollada en el 2008 por una persona bajo el seudónimo de “Satoshi Nakamoto”. Esta criptomoneda fue creada con el objetivo de funcionar como dinero digital descentralizado, eliminando la necesidad de intermediarios como las identidades bancarias y gubernamentales, garantizando la seguridad y estabilidad de las transacciones. Es importante comprender que el bitcoin realiza las transacciones directamente entre usuarios, sistema conocido como Peer to peer

(P2P), esto significa que las criptomonedas se transfieren de una persona a otra, cada transacción es pública con su propia cadena de bloques llamada “Blockchain” esto es una secuencia de datos encadenados en la que cada bloque está vinculado al anterior. Esta estructura es extremadamente segura, imposible de modificar y mientras existan usuarios en la red los datos almacenados en la blockchain no desaparecerán.

Los mineros son responsables de añadir registros a cada bloque dentro de la cadena de bloques (Blockchain), su labor consiste en aprobar y autorizar las transacciones, y una vez es completada, este mecanismo envía el bloque al resto de los mineros en la red para que lo añadan a la blockchain. El Bitcoin se rige por cuatro reglas fundamentales, la primera cada bloque está compuesto de textos, este texto son los datos de las transacciones que se registran, la segunda es que cada bloque puede tener un tamaño máximo de 1 megabyte, lo que limita la cantidad de transacciones que puedan incluirse en él, la tercera es que cada bloque se genera cada 10 minutos aproximadamente y la cuarta es cada vez que un minero genera un bloque recibirá una recompensa por la misma y para que el nuevo bloque sea añadido a la cadena deberá enviárselo a otros mineros quienes lo validan y lo aprueban por consenso.

Cada bloque tiene un respectivo hash, un identificador único y de tamaño fijo compuesto por una combinación específica de letras y números, sin importar el tamaño de los datos. El hash asegura la integridad y autenticidad de cada bloque. El contenido de cada bloque tiene varios elementos: el hash del bloque anterior, la fecha y hora de creación del bloque, la transacción que otorga la recompensa al minero y todas las transacciones realizadas hasta alcanzar el límite de 1 megabyte, para garantizar la seguridad el hash de cada bloque debe comenzar por un determinado

número de ceros, lo que obliga a los mineros resolver complejos problemas matemáticos mediante un proceso conocido como prueba de trabajo (Proof of Work), este proceso toma unos 10 minutos para cumplir esa regla. Dado que resolver estos problemas matemáticos requiere un alto poder computacional, los mineros se reúnen en grupos llamados pools o piscinas para trabajar juntos y conseguir hashes válidos.

El comportamiento del precio del Bitcoin es muy volátil, ya que está fuertemente relacionado por la oferta y la demanda, así como por las noticias anunciadas en base con la tecnológica y el entorno económico. Al cierre de la segunda semana de septiembre del 2024 su precio se ubica en 60.250 dólares.

2.2 Tipos de criptomonedas

En el mercado de los activos digitales existe miles de criptomonedas, las cuales se desarrollan con diferentes objetivos y usos, así mismo, cada proyecto usa diferentes tipos de Blockchain, redes transaccionales y sistemas de minería. Gracias a estas diferencias encontramos diversos grupos, los más destacados son:

2.2.1 Altcoins

Las Altcoins se diseñan con el propósito de que sean monedas alternativas diferentes al Bitcoin, teniendo en cuenta que esta moneda fue la primera criptomoneda del mundo.

Estas monedas aparecen en el 2011 utilizando la misma tecnología de la Bitcoin, donde su objetivo es buscar soluciones para diferentes industrias, hay proyectos que trabajan en sistemas

electorales, transporte de mercancías o trazabilidad de alimentos. Dentro de las Altcoins se encuentran criptomonedas tales como el Ether o Dash.

El Ether es la criptomoneda nativa de la plataforma Ethereum creada en el 2015 por Vitalik Buterin con el objetivo de crear un instrumento para aplicaciones descentralizadas donde adopta la tecnología de cadena de bloques, esta criptomoneda tiene la segunda capitalización bursátil más grande del mercado. A la fecha hay más de 122 millones de tokens de Ether en circulación por el mercado financiero para cierres de agosto del 2024.

Dash fue lanzada en el 2014 como una bifurcación de Litecoin por Evan Duffield, diseñada para proteger el anonimato de los usuarios utilizando el mismo sistema de minería de Bitcoin (PoW), al mismo tiempo tiene una mejora en la velocidad de las transacciones. Dash tiene una cantidad de más de 10 millones de tokens en circulación para el cierre de agosto de 2024.

2.2.2 Stablecoins

Se caracterizan en que el precio es dependiente de otro activo, buscan utilizar la tecnología blockchain, pero sin la necesidad de tener la volatilidad en el precio de mercado que maneja la Bitcoin e incluso el Ether. El origen de estas surge en el 2014 a partir de nuevas opciones de pago logrando tener la misma privacidad y rapidez transaccional que las Altcoins.

Existen varios tipos de StableCoins, entre ellas las adyacentes al dinero fiat, lo que indica que están respaldadas por monedas como el dólar estadounidense o el euro, esto quiere decir que por cada stablecoin en circulación hay una moneda correspondiente.

Un ejemplo claro de ello es el Tether, fue la primera StableCoin en salir al mercado, y está vinculada con el dólar estadounidense donde el precio mantiene una paridad cercana de 1 a 1 con esta moneda. Fue lanzado en el 2014 con el nombre de Realcoin por Brock Pierce y tiene una cantidad de 118.20B de USDT en circulación para inicios de septiembre de 2024

Por otro lado, están las StableCoins que dependen de otras criptomonedas, entre ellas se encuentra el Dai que mantiene su paridad con el dólar estadounidense mediante un sistema de contratos inteligentes (SmartContrats) en la Blockchain de Ethereum, esta criptomoneda se lanzó en el año 2018 por MakerDAO y cuenta con una cantidad de 5.37B de DAI en circulación para inicios de septiembre del 2024.

2.2.3 Memecoins

Las Memecoins son inspiradas en chistes, imágenes o memes de la internet. Son monedas digitales utilizadas para la especulación en el mercado de las criptomonedas, lo que indica que no tienen un valor intrínseco y rara vez es útil. Sin embargo, las transacciones funcionan con mayor rapidez, anonimato y seguridad.

Su principal moneda es el DogeCoin lanzado en el año 2013 inspirado en un perro de raza Shiba Inu, creada por Jackson Palmer y Billy Markus con el objetivo de burlarse de las monedas tradicionales del mundo financiero. Cuentan con una cantidad de 145.91B de DOGE en circulación para inicios de septiembre de 2024 y opera bajo el protocolo de PoW lo que significa que puede ser minado como Bitcoin,

Otro ejemplo es la criptomoneda PEPE creada a partir del meme Pepe the frog y se creó con la tecnología de Ethereum en el año 2023, lo que garantiza transparencia y seguridad; esta criptomoneda se destaca por su bajo costo transaccional donde puede ser muy especulativo debido a su naturaleza volátil. Para inicios de septiembre de 2024 cuentan con una cantidad de 420.69T de PEPE 's en circulación siendo la moneda más negociada dentro del segmento de las memecoins.

2.3 Exchange

Son intermediarios que crean plataformas para realizar la compra y venta de monedas digitales donde se pueden intercambiar por otros activos; o por dinero fiat. Estos nacen en el 2009 después de la creación del Bitcoin por Martti Malmi, en este año se crea el primer Exchange conocido como “NewLibertyStandart”, estas plataformas funcionan para personas o empresas que quieran operar en el mundo de las criptomonedas.

Dentro de los Exchange se ofrece monitoreo de precios, almacenamiento de criptomonedas a partir de los monederos hospedados, servicio de finanzas descentralizadas como Staking y Yield Farming, negociación de futuros sobre criptomonedas y bots de trading.

2.3.1 Exchange Centralizadas

Son aquellas plataformas que están reguladas, es decir que los usuarios deben exhibir su identidad para que esta tenga conocimientos de las operaciones realizadas, entre sus características se encuentra la facilidad de uso, la alta liquidez y la capacidad de manejar un alto volumen de transacciones. Algunos ejemplos de estas se encuentran Exchange como Binance, Coinbase y Kraken.

2.3.2 Exchange no centralizadas

Son aquellas que no están vigiladas por algún ente de regulación, lo que indica que las transacciones y operaciones hechas por los usuarios son completamente anónimas. Teniendo en cuenta esto se puede decir que la mayoría de las operaciones con criptomonedas se realizan en Exchange no centralizados. Dentro de estas se encuentran ejemplos tales como Uniswap y Pancakesawp.

2.4 Negociación de las Criptomonedas

Las operaciones de intercambio con criptomonedas se pueden realizar de dos formas: centralizadas y descentralizadas.

“Aunque el comercio de las criptomonedas más grandes se produce principalmente en intercambios centralizados, la mayoría de los tokens recién emitidos solo se pueden intercambiar mediante plataformas descentralizadas. Los volúmenes en estos intercambios descentralizados (incluidos los creadores de mercado automatizados) han aumentado exponencialmente recientemente.”. (Aspris, Foley, Svec, & Wang, 2021)

Las operaciones centralizadas proporcionan una infraestructura que permite una mayor liquidez y accesibilidad, encontrando a inversores que quieran priorizar la facilidad de transacciones y el volumen. Por otro lado, las operaciones descentralizadas ofrecen una mayor seguridad, aunque tiene una menor liquidez y mayores complejidades operativas.

2.5 Monederos digitales

Los monederos digitales (Wallets) son aplicaciones que permiten almacenar las criptomonedas de manera segura, esto facilita las transacciones para enviar y recibir activos digitales en las plataformas dedicadas a la tecnología blockchain, estos monederos tienen dos grandes categorías, los monederos calientes (Hot Wallets) y los monederos fríos (Cold Wallets). Las operaciones dentro de los monederos están protegidas por una serie de claves, que se puede dividir en públicas o privadas.

La clave pública es el número del monedero donde se desea que lleguen las monedas o se haga la transacción, esta clave permite generar direcciones para recibir, consultar y ver el estado de los fondos. Por otro lado, las claves privadas son aquellas que protegen las criptomonedas, y en este caso es la llave de acceso a los fondos que se tengan en el monedero, por ende, es personal y de único uso.

2.5.1 Monederos Calientes

Son monederos 100% online, pueden ser aplicaciones o extensiones del navegador web, dentro de estos están los monederos hospedados donde la propia plataforma tiene la custodia de las criptomonedas, pero no se garantiza seguridad, lo que quiere decir que si hackean el Exchange no hay manera de recuperar los fondos, un ejemplo de estos podría ser Bit2me. Por otro lado, se encuentra los monederos online que dependen en su totalidad de estar conectados a internet, pero son plataformas independientes a los Exchange, donde se encuentran monederos que utilizan una tecnología que no permite que rastreen la IP, lo que genera más seguridad, en estos se encuentra Coinbase Wallet que es un monedero independiente a la Exchange y Metamask.

2.5.2 Monederos Fríos

Son dispositivos físicos que no necesitan una conexión permanente a internet, lo que hace que se conviertan en la opción más segura. Dentro de estos está el monedero físico o de hardware que son muy prácticas de usar y en forma de disco duro portátil o USB, al no estar conectadas constantemente a internet no están expuestas a ningún tipo de hackeo o robo de información. Por otro lado, están los monederos de papel donde las claves públicas y privadas se almacenan de manera física sea impreso en un papel o en un material que sea adecuado para no estar en riesgo de desgastarse, y cuentan con un código QR con el fin de facilitar las transacciones. Estos monederos están propensos al deterioro, daño o extravió del papel donde son impresos.

2.6 Finanzas Descentralizadas (DeFi)

Las DeFi son las finanzas descentralizadas lo cual es un sistema financiero con base a las Blockchain y la tecnología emergente que tiene como objetivo eliminar la necesidad de intermediarios tradicionales como el banco o el gobierno para proporcionar servicios financieros de forma transparente, accesible y sin autoridad centralizada.

El funcionamiento de las DeFi se basa en un código de software que opera de forma autónoma en la cadena la cual se ejecuta en la cadena de bloques de Ethereum. Estas tienen un conjunto de aplicaciones descentralizadas, conocidas como “dApps” que depende de las stablecoins y de otros componentes. Existen diversas herramientas financieras para relacionarse con las DeFi, las cuales son:

- Staking: Consiste en mantener tener bloqueada una cantidad específica de criptoactivos, lo cual permite recibir una ganancia de ello.

- Lending/Borrowing: Son un servicio de préstamo que permite a los usuarios prestar o tomar prestado criptoactivos y otros usuarios puedan aportar activos.
- Yield Farming: Se basa en invertir criptoactivos en varias plataformas para generar una mayor ganancia en un menor periodo de tiempo.

Dentro de este sistema existen varios beneficios, no se necesita que se abra cuenta para poder acceder a este servicio y los préstamos se generan de forma flexible, segura, privada y lo más importante transparente. Con esto se refiere que no se requiere de intermediarios y cada usuario pueden transferir los activos en cualquier momento y lugar, además las tasas de intereses se actualizan constantemente y suelen ser más altas que las ofrecidas por el sistema financiero tradicional. Sin embargo, uno de los inconvenientes que enfrenta las DeFi es la volatilidad en las tasas de transacción lo que genera que el mercado sea demasiado fluctuante y que algunas veces las DeFi sean ineficientes.

Las primeras aplicaciones DeFi surgieron alrededor del año 2017 con la creación de MakerDAO basadas en red blockchain Ethereum. MakerDAO introdujo una moneda digital llamada Dai, respaldada por activos digitales a través de contratos inteligentes del protocolo Maker, estos contratos permiten la creación de una cantidad de Dai. El protocolo se encarga del control de las tasas de estabilidad y los tipos de intereses, esto quiere decir que los primeros protocolos de las DeFi más conocidas como DeFi 1.0 permite a los usuarios aportar liquidez y recibir recompensas sin tener que bloquear sus fondos y así fomentar su participación. En consecuencia, de lo anterior, los protocolos quedaron en manos de los proveedores de liquidez, lo

que géneros algunos inconvenientes, uno de los principales problemas surgió cuando los usuarios retiraban grandes cantidades de tokens del Exchange y esta provocaba una crisis de liquidez.

Las DeFi 2.0 fueron creadas con el objetivo de solucionar los problemas de liquidez presentes en las primeras versiones de DeFi, en lugar de estar controladas por los usuarios son ejecutadas por su propio protocolo, lo que ha mejorado la eficiencia del capital y ha facilitado las transacciones, y lo más importante, se ajustaron para que el préstamo pueda ser auto reembolsable, aunque siguen expuestas a los ataques de hackers y algunos contratos que incluyen aplacamiento están sujetos a la liquidación lo que implica un mayor riesgo.

Un protocolo de referencia que se conoce actualmente es Olympus Dao (Organización Autónoma Descentralizada). Este sistema proporciona una mayor estabilidad a las finanzas descentralizadas mediante la emisión de su token OHM que ofrece un precio más bajo en comparación del token de liquidez lo que permite mantener el control, además el precio de la moneda es algorítmico y está respaldada por una cesta de activos. Alchemix es otra criptomoneda de DeFi 2.0, funciona como un token de gobernanza, permitiendo a los usuarios la participación en la toma de decisiones sobre el futuro del protocolo, además ofrece la posibilidad de obtener el rendimiento anticipado de sus préstamos, generando así liquidez inmediata.

Las DeFi 3.0 surgieron recientemente para abordar los desafíos que aún persisten en las DeFi 2.0, aunque esta solución algunos problemas como la salida de liquidez en la industria por tal razón era necesario avanzar hacia una generación que añadiera la inclusión y anticipación de todas las formas de financiamiento. DeFi 3.0 integra opciones más complejas como los fondos

descentralizados, las opciones financieras y los derivados. Además, Las DeFi 3.0 introduce un nuevo enfoque en la gestión de tesorería al mantener el token en sus carteras, para que los usuarios puedan recibir la distribución de nuevos tokens directamente en sus carteras de los titulares.

Un ejemplo de DeFi 3.0 es Multi-Chain (MCC) permite a los usuarios comprar Ethereum y compartir los beneficios entre los titulares, además cultiva una parte de los rendimientos generados se distribuye a los titulares de tokens; ese decir si compra un 5% de tokens se reparte entre los titulares, mientras que un 5% de las ventas va para la tesorería de MCC. El Cross Chain Capital (CCC) trabaja en Avalanche, a través de la compra de un 10% de los tokens los usuarios obtienen una recompensa pasiva y recompra a largo plazo, mientras se mantiene la liquidez.

2.7 Índice Bursátil y Benchmark

Se abordará el concepto de los índices bursátiles y la importancia que tiene en los mercados financieros, se explicará qué es el índice bursátil, su composición y su ocupación como indicadores del comportamiento del mercado. También se analizarán algunos de los índices más representativos a nivel mundial, como el S&P 500 y el FTSE 100, así como los índices del mercado de criptomonedas como el Crypto Market Index 10 (CMI10) y el S&P Cryptocurrency Broad Digital Market (BDM). Posteriormente, se explicará los distintos métodos de cálculo utilizados para su construcción, incluyendo los índices de precio ponderado, capitalización ponderada e igual ponderación. Por último, se estudiará el concepto de Benchmark, su utilidad para evaluar el desempeño de inversiones y su impacto en la toma de decisiones financieras.

2.7.1 Índice Bursátil

Es un indicador que mide el comportamiento de un mercado financiero, compuesto por acciones representativas de diferentes empresas que cotizan en la bolsa de valores. Estos índices pueden incluir acciones, bonos u otros instrumentos financieros, además miden el rendimiento de un grupo de acciones de un sector económico o una categoría específica. Para que una empresa sea considerada como las más representativas en esa bolsa de volares, debe aportar significativamente al desarrollo del mercado financiero.

El índice bursátil sirve para mostrar el comportamiento de un mercado para y se utiliza como Benchmark o punto de referencia e integrarlo en un análisis de portafolio permitiendo comparar y medir rentabilidad, riesgo y desempeño, los inversionistas lo emplean para diseñar estrategias de inversión y en el proceso de toma de decisiones, identificando tendencia de mercado, como periodos de crecimiento o recesión. Además, proporciona una base para tomar decisiones sobre comprar, vender o mantener los activos. Por último, se usa para la estructuración de productos financieros como lo son fondos bursátiles, Exchange Traded Funds (ETF), entre otros.

Dentro de los índices más importantes a nivel mundial se encuentran:

- **Standard & Poor's 500 (S&P 500):** Este índice incluye 500 empresas más grandes que cotizan en la bolsa de valores de Estados Unidos, incluye sectores como tecnología, salud, finanzas, consumo, energía, entre otros, están ponderadas por su capitalización y representa el mayor impacto en el índice. Los inversionistas y analistas utilizan este índice como

referencia para poder evaluar el rendimiento de otras inversiones por ser la principal economía del mundo.

- **Financial Times Stock Exchange 100 Index (FTSE 100):** Este índice incluye 100 empresas más grande que cotizan en la bolsa de Londres, es uno de los más grande del Reino Unido que incluye los sectores como energía, finanzas, minería, bienes de consumo, y servicios de salud y otro más. Es utilizado por los inversionistas para evaluar la salud y el rendimiento de Reino Unido.

Dentro de los índices de las criptomonedas se encuentran:

- **Crypto Market Index 10 (CMI10):** Este índice hace seguimiento del rendimiento de las 10 principales criptomonedas por capitalización del mercado, este incluye criptomonedas como Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Binance Coin (BNB), y otras que ocupan los primeros puestos. El valor influye por los factores de movimiento de los precios, la confianza del mercado, los avances tecnológicos y la actividad comercial, es utilizado para seguir el rendimiento del mercado de criptomonedas y como referencia para productos financieros que buscan replicar o superar el rendimiento del índice.
- **S&P Cryptocurrency Broad Digital Market (BDM):** Mide el rendimiento de la totalidad del mercado de criptomonedas, fue diseñado por S&P Dow Jones. Para que una criptomoneda forme parte del índice, debe cumplir con ciertos requisitos como estar

disponible para el comercio en intercambios aprobados y una liquidez mínima. Por lo tanto, este índice permite a los inversionistas evaluar el desempeño de manera más estructurada.

Los índices bursátiles son utilizados como Benchmark para poder medir el rendimiento de una cartera en comparación con el mercado general o de un sector en específico, además esta genera transparencia y facilita la comparabilidad. En este caso utilizaremos el S&P 500 es una de las más representativas de la bolsa teniendo el rendimiento de 500 empresas más grandes de Estados Unidos, esto permitiendo evaluar si la cartera está por debajo, igual o por encima del mercado. Por lo tanto, al ser un punto de referencia definiremos un objetivo de rendimiento para comprender la estrategia de inversión y su desempeño.

2.7.2 Benchmark (BMK)

El Benchmark es un punto de referencia utilizado para evaluar el rendimiento de un activo, una inversión o un promedio de mercado, es una herramienta fundamental en finanzas, inversiones, y tecnología, ya que permite comparar el desempeño de distintos activos o estrategias para determinar si generan buenos resultados. En otras palabras, cualquier índice usado como referencia para medir la eficiencia de una cartera puede considerarse un Benchmak.

La elección del Benchmark depende del mercado, el estilo del inversor y los tipos de activos financieros, seleccionar un Benchmark adecuado permite evaluar si un gestor ha obtenido una rentabilidad superior a la del mercado de referencia.

El Benchmark es útil para evaluar si el activo está aumentando, manteniéndose igual o disminuyendo en comparación con un índice de referencia, proporciona a los inversionistas

información importante para decidir donde invertir, además de ayudar a identificar los riesgos asociados a cada inversión. También establece un nivel de rendimiento que puede utilizarse como meta para evaluar la efectividad de una estrategia. Por último, si una cartera de inversión no alcanza el rendimiento de su Benchmark, esto podría indicar la necesidad de realizar ajustes, esta comparación permite identificar áreas en las que es posible mejorar el desempeño de la inversión.

En este proyecto se eligió como Benchmark el Nasdaq Crypto Index (NCI) ya que este está diseñado para medir el mercado de activos digitales y al mismo tiempo ofrecen un punto de referencia institucional y regulado, este índice refleja de forma transparente el cambio del mercado de criptomonedas, incluyendo a las principales como Bitcoin, Ethereum y un conjunto de altcoins liquidas. El objetivo principal de este índice es aplicar estándares estrictos de liquidez, negociación y custodia para poder garantizar la confiabilidad de los activos que lo conforman.

Capítulo 3. Marco Regulatorio

En Colombia el uso de las criptomonedas no está regulado por ninguna entidad financiera, según el artículo de la Ley 31 de 1992, la moneda legal en Colombia está compuesta por billetes y monedas metálicas. Su valor debe expresarse en pesos, según la nominación determinada por la junta directiva del Banco de la república, además esta es el único medio de pago con poder liberatorio ilimitado en el país. (Banco de la república 2016).

Teniendo en cuenta la decisión de la Superintendencia Financiera de prohibir a sus entidades vigiladas realizar transacciones con monedas virtuales, es importante destacar que según Villegas (2017), “las únicas divisas con las que se pueden pagar las operaciones del mercado

cambiario y del mercado libre” son las establecidas en la Resolución 008 de 2000 expedida por la Junta Directiva del Banco de la Republica.

Capítulo 4. Metodología

Esta investigación se basa en una metodología cuantitativa teniendo en cuenta los resultados respecto a los modelos utilizados en el proceso (Markowitz, CAPM y Montecarlo) utilizando la recopilación de datos de las diferentes criptomonedas extraídos de diferentes fuentes. Se realiza la programación del modelo en Visual Basic for Applications (VBA), donde se tenga en cuenta el perfil de riesgo del inversionista y la automatización de los cálculos, así mismo, se va a realizar un análisis descriptivo en el cual se tienen en cuenta las métricas de riesgo retorno calculadas en los modelos mencionados anteriormente.

4.1 Selección de Criptomonedas

Los activos correspondientes se seleccionaron del monitor de criptomonedas de la plataforma Bloomberg Professional, en el cual se encuentran 48 activos, luego se realiza la descarga de los precios históricos desde la página web de Investing el 1 de enero de 2022 hasta el 31 de diciembre de 2024, dando así un resultado de 15 criptomonedas de diferentes, se toma el Bitcoin como moneda principal y otras altcoins, stablecoins y memecoins.

Se calculan las rentabilidades anualizadas de los activos para determinar las composiciones de las carteras para cada perfil de riesgo, incluyendo el Bitcoin en cada una. El perfil conservador se centra en rentabilidades entre -15% y 15%, el perfil moderado rentabilidades mayores del 15% hasta el 20% y menores que el -15% hasta -20% y finalmente el perfil de alto riesgo se midió por rentabilidades mayores al 30% y menores al -30%.

Tabla 1: Rentabilidades Perfil de Riesgo

PERFIL	RENTABILIDAD	
CONSERVADOR	MENOR A 15%	MAYOR A -15%
MODERADO	DE -15% HASTA -20%	DE 15% HASTA 20%
ALTO RIESGO	MAYOR A 30%	MENOR A -30%

Elaboración propia

4.2 Perfil de Riesgo

Los perfiles de riesgo buscan describir la capacidad del inversionista a la hora de asumir riesgos y son muy importantes en la toma de decisiones para tener un mejor panorama a la hora de invertir.

4.2.1 Perfil Conservador

El perfil conservador se destaca por buscar la mínima volatilidad en el momento de invertir, se reconoce por tener una inversión segura a corto plazo, normalmente en el negocio de las criptomonedas se suele utilizar activos como las StableCoins, monedas que están atadas a otro activo y que su volatilidad no es tan significativa.

Para este perfil se asignaron las siguientes criptomonedas: Bitcoin, Tether, Dash, Zcash, Avalanche y Polygon.

4.2.2 Perfil Moderado

El perfil moderado busca tener un equilibrio entre seguridad al momento de invertir y la rentabilidad que le vayan a generar estas inversiones, está dispuesto a asumir riesgo en el que espera ganancias a mediano plazo, pueden utilizar criptomonedas como las AltCoins.

Para este perfil se asignaron las siguientes criptomonedas: Bitcoin, Litecoin, Cardano, Ethereum, Cosmos, Decentraland.

4.2.3 Perfil Alto Riesgo

El perfil de alto riesgo tiende a tener más tolerancia al riesgo y busca mayores rendimientos, puede obtener pérdidas significativas a corto plazo por ende busca la inversión a largo plazo para generar mayor ganancia. Pueden utilizar criptomonedas como las MemeCoins.

Para este perfil se asignaron las siguientes criptomonedas: Bitcoin, Axie Infinity, Shiba Inu, DogeCoin, XRP, Ethereum.

Tabla 2: Monedas asignadas según el perfil de riesgo

<i>CONSERVADOR</i>	<i>MODERADO</i>	<i>ALTO RIESGO</i>
<i>BITCOIN</i>	<i>BITCOIN</i>	<i>BITCOIN</i>
<i>TETHER</i>	<i>LITECOIN</i>	<i>AXIE INFINITY</i>
<i>DASH</i>	<i>CARDANO</i>	<i>SHIBA INU</i>
<i>ZCASH</i>	<i>ETHEREUM</i>	<i>DOGECOIN</i>
<i>AVALANCHE</i>	<i>COSMOS</i>	<i>XRP</i>
<i>POLYGON</i>	<i>DECENTRALAND</i>	<i>ETHEREUM</i>

Elaboración propia

4.3 Encuesta Perfil de Riesgo

Es una encuesta basada en nueve preguntas, las cuales le asignamos un puntaje respectivo para determinar en qué nivel podemos ubicar el perfil del inversionista, entre estos encontramos el perfil conservador, moderado y alto riesgo donde cada cartera consta de seis criptomonedas diferentes.

Tabla 3: Preguntas encuesta

	PUNTAJE	
	SI	NO
1. ¿Tiene experiencia invirtiendo en criptomonedas?	1	0
2. ¿En caso de grandes pérdidas, ¿Retiraría su inversión?	0	1
3. ¿Prefiere inversiones a largo plazo en lugar de obtener pequeñas ganancias rápidas?	0	1
4. ¿Planea mantener su inversión más de 5 años?	0	1
5. ¿Tiene conocimiento de la clasificación y volatilidad de las criptomonedas?	0	1
6. ¿Estaría dispuesto en asumir mayor riesgo si eso significa mayor ganancia?	0	1
7. ¿Está más enfocado en preservar su capital en vez de obtener altos rendimientos?	0	1
8. ¿Estaría dispuesto a cambiar su inversión en criptomonedas por diferentes activos para minimizar el riesgo?	0	1
9. ¿Está dispuesto a aprender continuamente sobre el mercado crypto y sus cambios?	0	1

Elaboración propia

Tabla 4: Puntaje perfil de riesgo

PERFIL	PUNTAJE
CONSERVADOR	MENOR A 4
MODERADO	ENTRE 4 Y 6
ALTO RIESGO	MAYOR A 6

Elaboración propia

4.4 Métricas de Optimización

El inversionista encontrará en el formulario una breve descripción de las métricas relacionadas para realizar las optimizaciones, de acuerdo con estas descripciones al estar de acuerdo con la información se le habilitara otro formulario donde tendrá que escoger solo una métrica la cual se maximizara o se minimizará según corresponda.

Gráfico 1: Lista de Métricas

Rentabilidad	Retorno Anualizado	Maximizar	La rentabilidad anualizada indica el beneficio porcentual si el plazo de la inversión hubiese sido de un año
	Alpha		Es un parámetro definido en la teoría financiera de cartera de valores que sirve para analizar la evolución de un valor bursátil con respecto a su índice de referencia
Riesgo	Volatilidad Anualizada	Minimizar	Es una medida de la desviación típica del logaritmo de dos cierres consecutivos para un periodo determinado
	Beta		Es una medida del riesgo inherente a un valor, tomando como referencia un indicador representativo del mercado; es decir, el coeficiente beta determina la volatilidad de una acción
	TE		El tracking error mide la desviación de los resultados de un fondo respecto a su índice de referencia
Riesgo/Retorno	Sharpe Ratio	Maximizar	El objetivo de este ratio es medir numéricamente la relación que hay entre la rentabilidad y la volatilidad histórica de un fondo de inversión
	Information Ratio		Mide la relación entre el diferencial de rentabilidad de un fondo o cartera sobre su benchmark y el riesgo asumido en la gestión al separarse en mayor o menor medida del índice de referencia

☐ Esta de acuerdo con la información suministrada

VOLVER AL INICIO

Elaboración propia

Gráfico 2: Formulario de Métricas

MÉTRICAS DE OPTIMIZACIÓN

Rentabilidad

☒ Retorno Anualizado

☐ Alpha

Riesgo

☐ Volatilidad Anualizada

☐ Beta

☐ Tracking Error

Riesgo/Retorno

☐ Sharpe Ratio

☐ Information Ratio

VOLVER

SIGUIENTE

Elaboración propia

4.5 Solver dinámico y Optimización

Un Solver dinámico en Excel es una herramienta que se utiliza para optimizar una variable dentro de un modelo, ya sea para maximizar o minimizar su valor, esto nos permite facilitar la toma de decisiones a partir de la generación de escenarios.

Tiene diferentes componentes:

- **Función Objetivo:** Es el valor que se tendrá en cuenta al momento de realizar la optimización
- **Parámetros:** Se seleccionará si es para maximizar o minimizar el valor anteriormente seleccionado.
- **Variables:** Valores que se modifican automáticamente con el proceso del solver.
- **Restricciones:** Son limitaciones con las que tiene que cumplir el proceso para que se realice adecuadamente.

4.5.1 Restricciones solver

En base a la métrica seleccionada anteriormente se ejecutan los solver de acuerdo con los modelos de optimización (Markowitz, CAPM y MonteCarlo), estos tienen diferentes restricciones según el perfil de riesgo del inversionista.

1. La suma de todos los porcentajes tiene que dar 100%
- 2.El porcentaje mínimo por criptomoneda se relaciona en la siguiente tabla

Tabla 5: Restricción mínima en la ponderación

PERFIL						
CONSERVADOR	BITCOIN	TETHER	DASH	ZCASH	AVALANCHE	POLYGON
Min	50%	5%	5%	5%	5%	5%
MODERADO	BITCOIN	LITECOIN	CARDANO	ETHEREUM	COSMOS	DECENTRALAND
Min	40%	5%	5%	5%	5%	5%
ALTO RIESGO	AXIE BITCOIN	INFINITY	SHIBA INU	DOGECOIN	XRP	ETHEREUM
Min	30%	5%	5%	5%	5%	5%

Elaboración propia

4.5.2 Optimización

Por cada modelo de optimización se realiza un solver esto debido a que cada modelo maneja formulas independientes, al final de correr los modelos se abrirá un formulario donde indique los porcentajes correspondientes a cada modelo, y el inversionista podrá escoger que modelo prefiere de acuerdo con su criterio.

Gráfico 3: Ponderación por modelos

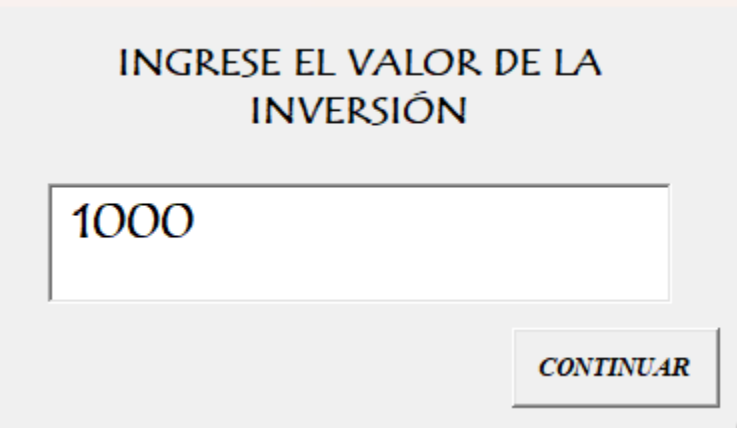
Según los modelos de optimización estos son los porcentajes correspondientes:			
	☐ MARKOWITZ	☒ CAPM	☐ MONTECARLO
BITCOIN	30,00%	30,00%	50,00%
AXIE INFINITY	50,00%	5,00%	10,00%
SHIBA INU	5,00%	5,00%	10,00%
DOGECOIN	5,00%	5,00%	10,00%
XRP	5,00%	50,00%	10,00%
ETHEREUM	5,00%	5,00%	10,00%
			SIGUIENTE

Elaboración propia

4.6 Inversión

Al finalizar las optimizaciones el inversionista ingresará el valor a invertir y se abrirá un formulario donde le indique la distribución del dinero en cada criptomoneda según el modelo seleccionado y el perfil de riesgo correspondiente.

Gráfico 4: *Valor de inversión*



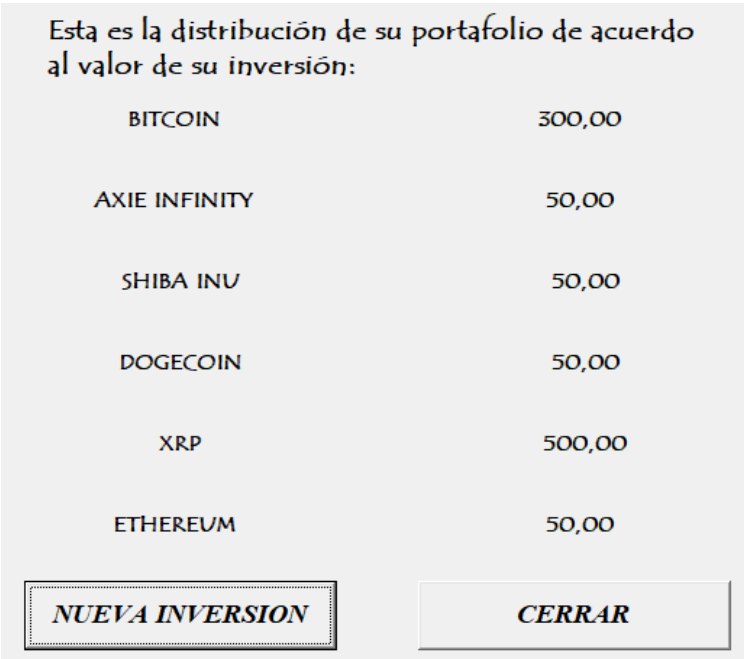
INGRESE EL VALOR DE LA INVERSIÓN

1000

CONTINUAR

Elaboración propia

Gráfico 5: *Distribución de la inversión*



Esta es la distribución de su portafolio de acuerdo al valor de su inversión:

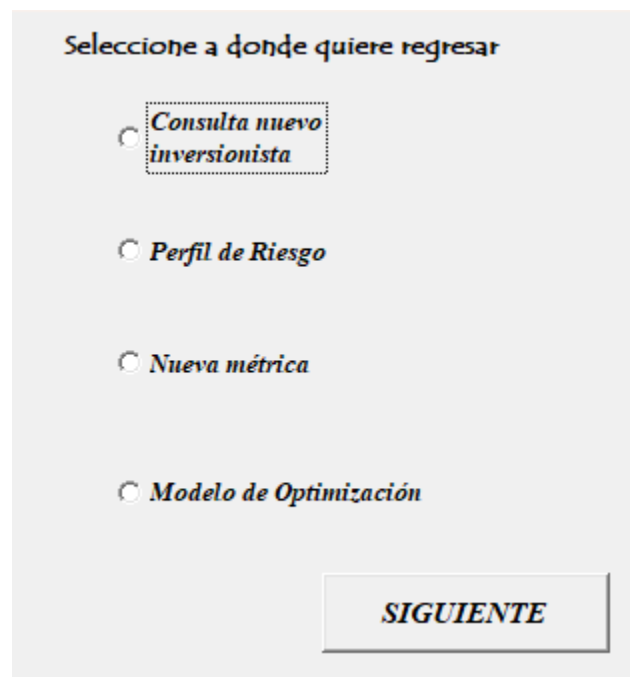
BITCOIN	300,00
AXIE INFINITY	50,00
SHIBA INU	50,00
DOGECOIN	50,00
XRP	500,00
ETHEREUM	50,00

NUEVA INVERSION CERRAR

Elaboración propia

Al finalizar el inversionista podrá elegir si quiere realizar una nueva consulta de inversión, ya sea para cambiar el perfil de riesgo, realizarlo a otra persona, cambiar la métrica o el modelo anteriormente seleccionado.

Gráfico 6 6: Nueva consulta



Seleccione a donde quiere regresar

☒ Consulta nuevo inversionista

☐ Perfil de Riesgo

☐ Nueva métrica

☐ Modelo de Optimización

SIGUIENTE

Elaboración propia

Capítulo 5. Resultados

Se calcularon todos los escenarios posibles, dando como resultado 63 escenarios que se dividen en 9 grupos organizados por perfil de riesgo atado a cada uno de los modelos y a su vez cada uno de estos optimizando las 7 métricas según corresponda.

5.1 Perfil de Riesgo Conservador

5.1.1 Modelo Markowitz

Tabla 6: Conservador-Markowitz

CONSERVADOR	Retorno Anualizado	Alpha	Volatilidad Anualizada	Beta	Tracking Error	Sharpe Ratio	Information Ratio
MARKOWITZ	14,59%	-18,08%	62,13%	0,81	2,24%	0,24	-8,52
BITCOIN	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
TETHER	5%	5%	5%	5%	5%	5%	16%
DASH	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
ZCASH	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
AVALANCHE	5%	5%	30%	30%	30%	5%	5%
POLYGON	30%	30%	5%	5%	5%	30%	19%

Elaboración propia

5.1.2 Modelo CAPM

Tabla 7: Conservador- CAPM

CONSERVADOR	Retorno Anualizado	Alpha	Volatilidad Anualizada	Beta	Tracking Error	Sharpe Ratio	Information Ratio
CAPM	20,33%	-12,35%	62,13%	0,81	2,24%	0,44	-6,76
BITCOIN	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
TETHER	30%	30%	5%	5%	5%	5%	30%
DASH	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
ZCASH	5%	5%	5%	5%	5%	30%	5%
AVALANCHE	5%	5%	30%	30%	30%	5%	5%
POLYGON	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%

Elaboración propia

5.1.3 Modelo Montecarlo

Tabla 8: Conservador – Montecarlo

CONSERVADOR	Retorno Anualizado	Alpha	Volatilidad Anualizada	Beta	Tracking Error	Sharpe Ratio	Information Ratio
MONTECARLO	36,74%	3,40%	62,13%	0,81	2,24%	0,62	2,19
BITCOIN	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
TETHER	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
DASH	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
ZCASH	30%	30%	5%	5%	5%	30%	30%
AVALANCHE	5%	5%	30%	30%	30%	5%	5%
POLYGON	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%

Elaboración propia

5.2 Perfil de Riesgo Moderado

5.2.1 Modelo Markowitz

Tabla 9: Moderado- Markowitz

MODERADO	Retorno Anualizado	Alpha	Volatilidad Anualizada	Beta	Tracking Error	Sharpe Ratio	Information Ratio
MARKOWITZ	8,97%	-23,71%	68,86%	0,85	2,59%	0,14	-9,84
BITCOIN	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
LITECOIN	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
CARDANO	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
ETHEREUM	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
COSMOS	40%	40%	5%	5%	5%	40%	35%
DECENTRALAND	5%	5%	40%	40%	40%	5%	10%

Elaboración propia

5.2.2 Modelo CAPM

Tabla 10: Moderado - CAPM

MODERADO	Retorno Anualizado	Alpha	Volatilidad Anualizada	Beta	Tracking Error	Sharpe Ratio	Information Ratio
CAPM	26,85%	-5,83%	68,86%	0,85	2,59%	0,41	-3,10
BITCOIN	40%	40%	40%	40%	40%	40%	75%
LITECOIN	40%	40%	5%	5%	5%	5%	5%
CARDANO	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
ETHEREUM	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
COSMOS	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
DECENTRALAND	5%	5%	40%	40%	40%	40%	5%

Elaboración propia

5.2.3 Modelo Montecarlo

Tabla 11: Moderado – Montecarlo

MODERADO	Retorno Anualizado	Alpha	Volatilidad Anualizada	Beta	Tracking Error	Sharpe Ratio	Information Ratio
MONTECARLO	35,21%	1,16%	68,86%	0,85	2,59%	0,54	-0,18
BITCOIN	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
LITECOIN	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
CARDANO	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
ETHEREUM	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
COSMOS	40%	40%	5%	5%	5%	40%	40%
DECENTRALAND	5%	5%	40%	40%	40%	5%	5%

Elaboración propia

5.3 Perfil de Riesgo Alto Riesgo

5.3.1 Modelo Markowitz

Tabla 12: Alto Riesgo- Markowitz

ALTO RIESGO	Retorno Anualizado	Alpha	Volatilidad Anualizada	Beta	Tracking Error	Sharpe Ratio	Information Ratio
MARKOWITZ	-0,12%	-32,80%	74,26%	0,88	2,87%	0,00	-11,42
BITCOIN	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
AXIE INFINITY	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
SHIBA INU	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
DOGECOIN	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
XRP	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
ETHEREUM	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%

Elaboración propia

5.3.2 Modelo CAPM

Tabla 13: Alto Riesgo- CAPM

ALTO RIESGO	Retorno Anualizado	Alpha	Volatilidad Anualizada	Beta	Tracking Error	Sharpe Ratio	Information Ratio
CAPM	26,38%	-6,30%	74,26%	0,88	2,87%	0,40	-3,03
BITCOIN	30%	30%	30%	30%	30%	30%	73%
AXIE INFINITY	5%	5%	50%	50%	50%	50%	5%
SHIBA INU	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
DOGECOIN	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
XRP	50%	50%	5%	5%	5%	5%	7%
ETHEREUM	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%

5.3.3 Modelo Montecarlo

Tabla 14: Alto Riesgo- Montecarlo

ALTO RIESGO	Retorno Anualizado	Alpha	Volatilidad Anualizada	Beta	Tracking Error	Sharpe Ratio	Information Ratio
MONTECARLO	34,21%	0,75%	74,26%	0,88	2,87%	0,47	2,33
BITCOIN	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
AXIE INFINITY	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
SHIBA INU	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
DOGECOIN	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
XRP	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
ETHEREUM	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%

Elaboración propia

5.4 Análisis de los resultados

De acuerdo con las optimizaciones realizadas, los resultados de las métricas indican que para los tres perfiles de riesgo el mejor modelo es Montecarlo, debido a que cumple con cuatro métricas fundamentales para la optimización de los modelos: la Rentabilidad Anualizada, en la cual se busca que sea la más alta posible; el Alpha, se espera que sea positivo ya que es el valor generado del portafolio con respecto al índice de referencia; el Sharpe Ratio, muestra cuanto rendimiento adicional se obtiene por cada unidad de riesgo asumido por ende se busca que sea alto; y el Information Ratio indica cuanto rentabilidad extra genera el gestor por cada unidad de riesgo activo frente al Benchmark y se busca que sea positivo.

Teniendo en cuenta los conceptos anteriores, para el perfil conservador la rentabilidad anualizada es de 36,74% siendo la más alta, el Alpha es de 3,40%, el Sharpe ratio es de 0,62 y por último el Information Ratio es de 2,19. Se comparan los resultados de los tres modelos y los resultados ya mencionados fueron los mejores, a comparación de dos Alpha negativos tanto para Markowitz como para CAPM de un -18,08% y un -12,35% respectivamente, estas optimizaciones

cuentan con tres métricas iguales para los tres modelos, una volatilidad anualizada de 62,13% se busca que esta sea mínima, un Beta de 0,81 lo que nos indica la sensibilidad al mercado, un Tracking Error de 2,24% se busca que la cartera sea diferente al índice de referencia.

El perfil moderado tiene como resultados una rentabilidad anualizada de 35,21% a comparación de un 8,97% para Markowitz y un 26,85% para CAPM siendo la de Montecarlo la más alta, en el Alpha el resultado es de 1,16%, una volatilidad para los tres modelos de 68,86%, el Beta de 0,85 y un Tracking Error de 2,59%, tenemos un Sharpe Ratio de 0,54, por último, un Infomation Ratio de -0,18, que, aunque es negativo es el mejor entre un -9,84 del modelo de Markowitz y un -3,10 del modelo de CAPM.

Para finalizar en el perfil de alto riesgo se tiene una rentabilidad anualizada de 34,21%, un Alpha de 0,75%, una volatilidad anualizada de 74,26% para los tres modelos, un Beta del 0,88, un Tracking Error de 2,87%, un Sharpe Ratio de 0,47 y un Information Ratio de 2,33.

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

A partir del marco teórico se permitió comprender la importancia de los modelos y las métricas de optimización financieros aplicados al mercado de alta volatilidad como el de las criptomonedas. Asimismo, la recolección y el procesamiento de los precios históricos desde el año 2022-2024 de los quince criptoactivos aportó una base de datos para la estimación de los parámetros necesarios para la optimización, garantizando condiciones comparables entre los modelos.

La automatización del proceso de optimización mediante programación en VBA demostró ser un aporte significativo para la eficiencia del análisis, ya que redujo el tiempo requerido para generar las ponderaciones óptimas de cada portafolio y permitió replicar los cálculos de manera dinámica para los distintos perfiles de riesgo.

Los resultados obtenidos evidencian que el modelo de Montecarlo supera los modelos de Markowitz y CAPM en métricas utilizadas en la optimización como la **Rentabilidad Anualizada**, **Alpha**, **Sharpe Ratio** e **Information Ratio**, indicadores importantes para evaluar el rendimiento ajustado al riesgo. En particular, el perfil conservador obtuvo los valores más altos en rentabilidad, Alpha y Sharpe Ratio, mientras que el perfil de alto riesgo presentó el mejor Information Ratio, demostrando un comportamiento eficiente. Esto confirma que el modelo de Montecarlo ofrece una estructura más sólida para la asignación de activos en mercados altamente volátiles.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten afirmar que se cumplió satisfactoriamente el objetivo general de la investigación, ya que se logró diseñar un modelo de optimización de portafolios de criptomonedas capaz de maximizar el retorno esperado y las métricas adicionales según el perfil de riesgo del inversionista. La comparación entre los modelos de Markowitz,

CAPM y Montecarlo permitió asignar ponderaciones óptimas que responden adecuadamente a las características y necesidades de cada tipo de inversionista. Con ello, el modelo propuesto se relaciona como una herramienta funcional para la toma de decisiones en la gestión de portafolios dentro del mercado de las criptomonedas.

6.2 Recomendaciones

Con base a los resultados obtenidos, se presenta las siguientes recomendaciones para mejorar la precisión y eficiencia del modelo:

- Se reconoce que el mercado de las criptomonedas se caracteriza por su alta volatilidad, es fundamental mantener la base de datos actualizada en tiempo real, garantizando que los cálculos de rentabilidad esperada y la volatilidad reflejen de manera precisa las condiciones actuales del mercado, también esto permite que las decisiones generadas del modelo sean más confiables y seguras.
- Con el fin de poder mejorar la diversificación y robustez del portafolio es necesario ampliar la cantidad de criptomonedas con diferentes niveles de capitalización y volatilidad. Esto permite generar combinaciones más eficientes y adecuadas para los diferentes perfiles de riesgo.
- Se sugiere desarrollar un sistema adicional capaz de almacenar el historial de los portafolios generados para cada inversionista, con el fin de realizar evaluaciones periódicas, identificar las tendencias y ejecutar las estrategias de rotación de activos que permita ajustar el portafolio de manera dinámica frente a las fluctuaciones del mercado y mejorar la toma de decisiones a largo plazo.

Referencias

- academiasimple*. (5 de enero de 2022). Obtenido de Olympus Dao: <https://academiasimple.com/olympus-dao/>
- Alquezar, S. (19 de Septiembre de 2024). *¿Qué es el ratio de Sharpe?* Obtenido de Finect: <https://www.finect.com/usuario/sandraalquezar/articulos/que-es-el-ratio-de-sharpe>
- Amaya Brenes, S. (25 de mayo de 2016). *Composición y Técnicas de Elaboración del índice SP500 (EE. UU.) Evolución Durante el Periodo de Crisis*. Obtenido de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/44503/Composici%c3%b3n%20y%20t%c3%a9cnica%20de%20elaboraci%c3%b3n%20del%20%20adndice%20SP500%20%20Samuel%20Amaya%20Brenes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Annualized Volatility Definition, Formula & Calculations*. (2025). Obtenido de Study.com: <https://study.com/academy/lesson/annualized-volatility-definition-formula.html>
- Ararat Riaño, I., & Medina Céspedes, J. (diciembre de 2018). *Benchmark de Mercado Bursátiles: Posicionamiento Global del Mercado Accionario Colombiano*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/e7441681-8f51-43ed-9fbb-fac6e662cd42/content>
- Arenas, C. (02 de Febrero de 2025). *Tracking error*. Obtenido de Estrategias de Inversion: <https://www.estrategiasdeinversion.com/herramientas/diccionario/mercados/tracking-error-t-1709>
- Aspris, A., Foley, S., Svec, J., & Wang, L. (2021). *Decentralized exchanges: The “wild west” of cryptocurrency trading*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1057521921001782>
- Auer, R. (2018). *Regulación de las Criptomonedas: Evaluación de Reacciones del Mercado*. Obtenido de https://www.bis.org/publ/qtrpdf/r_qt1809f_es.pdf
- Banco de España*. (11 de Julio de 2023). Obtenido de Las finanzas descentralizadas o los criptoactivos: <https://repositorio.bde.es/bitstream/123456789/30650/1/be2303-art04.pdf>

Banco de la República de Colombia. (10 de febrero de 2016) *Banco de la República de Colombia*.
Obtenido de: <https://www.banrep.gov.co/es/banco/junta-directiva/conceptos/q16-584>

Bank, E. S. (24 de octubre de 2018). *S&P500, el índice de referencia para casi todo*. Obtenido de
Blog de Self Bank: <https://blog.selfbank.es/sp500-el-indice-de-referencia-para-casi-todo/>

Barrera Avellaneda, A., & Rozo Colorado, C. (2023). *Comparación del manejo contable y tributario de las criptomonedas en los países de Colombia, El Salvador y Argentina*. Bogotá.

Bitso blog. (05 de mayo de 2023). Obtenido de ¿Qué es un Exchange de criptomonedas?:
<https://blog.bitso.com/es-co/criptomonedas-co/que-es-un-exchange-de-criptomonedas#:~:text=En%20cambio%2C%20un%20exchange%20o,un%20exchange%2C%20no%20es%20posible>

Borrega Langa, R. (2020/2021). *Finanzas Descentralizadas*. Obtenido de
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/172618/Borrega%20-%20Finanzas%20Descentralizadas.pdf?sequence=1>

Bourgi, S. (13 de Julio de 2021). *Cointelegraph*. Obtenido de S&P Dow Jones:
<https://www.plus500.com/es-es/instruments/crypto10>

Cadena Díaz, P., & Rincón León, H. (2018). *¿Qué Son Las Criptomonedas?* Obtenido de
<https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4657/PROYECTO%20CRIPTOMONEDAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Catalán, R. (4 de noviembre de 2022). *Cryptoconexión*. Obtenido de ¿Qué son las DeFi?:
<https://cryptoconexion.com/que-son-las-defi/>

Céspedes López, J. (mayo de 2017). *Propuesta de Cálculo de índice Bursátil Para el Mercado Financiero Boliviano*. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1994-37332017000100003&script=sci_arttext

Chen, J. (1 de Junio de 2025). *¿Qué es la medida de Jensen (Alfa) y cómo se calcula?* Obtenido de
investopedia: https://www-investopedia-com.translate.goog/terms/j/jensensmeasure.asp?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&

[x_tr_pto=sge#:~:text=El%20alfa%20de%20Jensen%20es,activos%20de%20capital%20\(CAPM\)%20](#)

Cifuentes Quintero, Y. (noviembre de 2022). *Optimización de Portafolios con Criptomonedas*. Obtenido de https://repository.cesa.edu.co/bitstream/handle/10726/4970/MMB_1018447454_2022_2?sequence=1&isAllowed=y

Clementín, F. (3 de febrero de 2023). *Criptonoticias*. Obtenido de ¿Qué es una stablecoin?: https://www.criptonoticias.com/criptopedia/que-es-una-stablecoin/#google_vignette

Coinbase. (s.f.). Obtenido de ¿Qué son las DeFi?: <https://www.coinbase.com/es-la/learn/crypto-basics/what-is-defi>

Colombia, B. d. (2020). *BVC*. Obtenido de <https://www.bvc.com.co/indices-descripcion-general>

Estrategias de inversion. (s.f.). Obtenido de 500, S&P: <https://www.estrategiasdeinversion.com/herramientas/diccionario/mercados/sp-500-t-1179>

Estrategias de inversion. (s.f.). Obtenido de FTSE 100: <https://www.estrategiasdeinversion.com/herramientas/diccionario/mercados/ftse-100-t-1394>

Exness, E. d. (20 de MARzo de 2025). *Índice S&P 500 y su importancia a la hora de invertir*. Obtenido de Blog de Exness: <https://www.exmarkets.digital/es/blog/indice-sp500-y-su-importancia-a-la-hora-de-invertir/>

FasterCapital . (2024). *¿qué Es La Volatilidad Anualizada*. Obtenido de Faster Capital : <https://fastercapital.com/es/tema/%C2%BFqu%C3%A9-es-la-volatilidad-anualizada.html/1>

Franco Arbeláez, L., Avendaño Rúa, C., & Barbutín Díaz, H. (junio de 2011). *Modelo de Markowitz y Modelo de Black-Litterman en la Optimización de Portafolios de Inversión*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-77992011000100005&script=sci_arttext

Gate.io. (s.f.). Obtenido de DeFi 1.0 a 3.0 : ¿Qué es lo siguiente?: <https://www.gate.io/es/blog/456/defi-1.0-to-3.0-what-is-next>

Gratton, P. (18 de Junio de 2025). *Information Ratio (IR): Definition, Formula, vs. Sharpe Ratio*. Obtenido de Investopedia: <https://www.investopedia.com/terms/i/informationratio.asp>

Inc. All Rights Reserved. (2025). *Nasdaq*. Obtenido de <https://www.nasdaq.com/solutions/global-indexes/thematic/crypto>

Índices bursátiles. (s.f.). Obtenido de CMF Educa: <https://cmfchile.cl/educa/621/w3-article-1589.html>

IG. (s.f.). Obtenido de ¿Qué es Ethereum y cómo funciona?: <https://www.ig.com/latam/ethereum-trading/que-es-ether-y-como-funciona>

ING. (s.f.). *¿Qué es la rentabilidad anualizada y por qué te interesa para calcular el resultado de tu inversión?* Obtenido de En Naranja: <https://www.ing.es/ennaranja/invertir-dinero/conceptos-utiles/que-es-la-rentabilidad-anualizada-y-como-se-aplica-para-calcular-el-resultado-de-tu-inversion/>

Jabalera, J. (29 de enero de 2022). *Forbes*. Obtenido de Qué son los proyectos DeFi 2.0 que están en el punto de mira de los grandes inversores: <https://forbes.es/criptomonedas/135583/que-son-los-proyectos-defi-2-0-que-estan-en-el-punto-de-mira-de-los-grandes-inversores/>

Jaramillo Echeverry, L. (2021). *Portafolio Diversificados con Criptomonedas y sus Respectivo Riesgo de Mercado*. Obtenido de <https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/09b73d55-d628-40ee-96a0-0a6e59dee9a9/content>

Juarros, S. (abril de 2023). *Altcoins, stablecoins, memecoins, ¡muchas coins!* Obtenido de <https://launchpad.ripio.com/blog/altcoins-stablecoins-memecoins-muchas-coins>

Kriptomat. (s.f.). Obtenido de ¿Qué es la criptomoneda Dash y cómo Funciona?: <https://kriptomat.io/es/cotizacion-criptomonedas/dash-precio/que-es/>

- Kriptomat.* (s.f.). Obtenido de ¿Qué es la criptomoneda Tether (USDT) y cómo Funciona?: [https://kriptomat.io/es/cotizacion-criptomonedas/tether-usdt-precio/que-es/#:~:text=Tether%20\(USDT\)%20tiene%20una%20oferta,la%20liquidez%20actual%20del%20mercado](https://kriptomat.io/es/cotizacion-criptomonedas/tether-usdt-precio/que-es/#:~:text=Tether%20(USDT)%20tiene%20una%20oferta,la%20liquidez%20actual%20del%20mercado)
- Leal, A. (11 de mayo de 2023). *Criptonoticias*. Obtenido de Qué son las memecoins: ¿oportunidad de inversión o riesgo demasiado alto?: <https://www.criptonoticias.com/criptopedia/que-son-memecoins-oportunidad-inversion-riesgo-demasiado-alto/>
- Maldonado, J. (24 de febrero de 2023). *bit2me Academy*. Obtenido de ¿Qué son las Cold Wallets?: <https://academy.bit2me.com/que-son-cold-wallets/>
- Material.* (s.f.). Obtenido de Hot wallets o billeteras calientes, ¿cuáles son las mejores?: <https://materialbitcoin.com/blog/hot-wallets/>
- Matesanz, V. (20 de junio de 2023). *Finect*. Obtenido de Qué es una wallet de criptomonedas, qué tipos hay y cómo elegir una: <https://www.finect.com/usuario/vanesamatesanz/articulos/wallet-criptomonedas-que-es-tipos-como-elegir>
- Moreno Ballesteros, C. (junio de 2021). *Las Criptomonedas*. Obtenido de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/131068/Moreno%20Ballesteros%2C%20Cristina%20TFG.pdf?sequence=1>
- Nakamoto, S. (s.f.). *Bitcoin: Un Sistema de Efectivo Electrónico Usuario-a-Usuario*. Obtenido de https://bitcoin.org/files/bitcoin-paper/bitcoin_es_latam.pdf
- Plus 500.* (s.f.). Obtenido de Índice Cripto 10: <https://www.plus500.com/es-es/instruments/crypto10>
- Ramírez, L. (9 de diciembre de 2022). *IBES*. Obtenido de ¿Qué es Maker DAO y cómo funciona?: <https://www.iebschool.com/blog/que-es-maker-dao-y-como-funciona-finanzas/>
- Rodríguez Solorzano, E. (2022). *Tensiones Técnicas Presentes Entre el Libertarismo y el Autoritarismo en el Contexto del Uso de las Criptodivisas*. Obtenido de <https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/a670fd34-7bbf-41c1-90bd-89b5e75e0c20/content>

Sevilla Arias, A. (21 de Mayo de 2024). *economipedia*. Obtenido de Benchmark: <https://economipedia.com/definiciones/benchmark.html>

Sevilla Arias, A. (15 de Febrero de 2024). *economipedia*. Obtenido de Índice bursátil: <https://economipedia.com/definiciones/indice-bursatil.html>

The case for low-cost index-fund investing. (2025). Obtenido de vanguard: <https://www.vanguard.co.uk/professional/vanguard-365/investment-knowledge/portfolio-construction/the-case-for-indexing>

Valderrama Gómez, S. (2014). *Diseño de Portafolio de Inversión Mediante el Modelo de Selección de Markowitz y el Modelo CAPM*. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/14843/ValderramaGomezSantiago2014.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Villanueva, A. (20 de mayo de 2024). *Finect*. Obtenido de Qué son las stablecoins y cómo funcionan: tipos y ejemplos: <https://www.finect.com/usuario/avillanuevae/articulos/que-son-las-stablecoins-y-como-funcionan-tipos-y-ejemplos>

Villegas, J. D. (2017). *Bitcoin. ¿Vigilar o castigar? comentarios sobre su naturaleza y regulación*. Obtenido de <https://dernegocios.uexternado.edu.co/controversia/bitcoin-vigilar-o-castigarcomentarios-sobre-su-naturaleza-y-regulacion/>