



**Modificación del CAPM para el análisis del comportamiento del mercado  
criptográfico**

**Ana María Zapata Campo  
Sebastián Dorado Restrepo**

**Universidad Icesi  
Contaduría pública y finanzas internacionales  
Finanzas  
Juan Fernando Garrido Navia**

**Santiago de Cali  
2023**

**Modificación del CAPM para el análisis del comportamiento del mercado  
criptográfico**

**Autores**

**Ana María Zapata Campo  
Sebastián Dorado Restrepo**

**Director del proyecto**

**Juan Fernando Garrido Navia**

**Facultad de ciencias administrativas y económicas  
Contaduría pública y finanzas internacionales  
Finanzas**



**Santiago de Cali  
2023**

# Tabla de Contenido

pág.

<b>Resumen .....</b>	<b>6</b>
1.1 <i>Palabras Claves.....</i>	6
<b>Abstract .....</b>	<b>6</b>
1.2 <i>Key Words .....</i>	7
<b>2. Introducción.....</b>	<b>7</b>
2.1 <i>Justificación.....</i>	7
2.2 <i>Planteamiento del problema.....</i>	8
2.3 <i>Pregunta de investigación.....</i>	8
2.4 <i>Objetivo general.....</i>	9
2.5 <i>Objetivos específicos.....</i>	9
<b>3. Antecedentes .....</b>	<b>9</b>
3.1 <i>Marco teórico.....</i>	9
<b>4. Metodología.....</b>	<b>16</b>
4.1 <i>Tipo de estudio.....</i>	16
4.2 <i>Método.....</i>	16
4.3 <i>Variables.....</i>	16
4.4 <i>Variables explicativas.....</i>	18
4.5 <i>Variable dependiente.....</i>	20
4.6 <i>Muestra y ventanas de estimación.....</i>	20
4.7 <i>Herramientas y técnicas.....</i>	21
4.8 <i>Fuentes de información.....</i>	21
<b>5. Presentación de resultados.....</b>	<b>21</b>

**6. Análisis de resultados ..... 23**

6.1 *Análisis bitcoin* ..... 23

6.2 *Análisis ethereum*..... 27

6.3 *Análisis cardano*..... 31

**7. Conclusiones ..... 36**

**Referencias..... 38**

## Lista de Tablas

Tabla 1 .....	23
Tabla 2 .....	24
Tabla 3 .....	25
Tabla 4 .....	26
Tabla 5 .....	27
Tabla 6 .....	28
Tabla 7 .....	29
Tabla 8 .....	30
Tabla 9 .....	31
Tabla 10.....	31
Tabla 11.....	32
Tabla 12.....	33

## Lista de Figuras

Ilustración 1.....	23
Ilustración 2.....	25
Ilustración 3.....	28
Ilustración 4.....	29
Ilustración 5.....	31
Ilustración 6.....	33
Ilustración 7.....	34
Ilustración 8.....	34
Ilustración 9.....	35

## **Resumen**

En los últimos años, las criptomonedas han captado la atención de muchos inversionistas debido a los altos rendimientos que ofrecen aunque, algunos no se aventuran a incorporar este instrumento financiero a sus portafolios de inversión debido a la falta de comprensión de su naturaleza. Por lo tanto, son escasas las herramientas financieras disponibles para mitigar los riesgos asociados. El objetivo del estudio es proponer un modelo de valoración que se adapte de manera más efectiva a los empleados de forma convencional, identificando las variables con mayor correlación respecto a las fluctuaciones de los precios. El modelo se presenta como una regresión múltiple que considera diversos factores, como el comportamiento del mercado, la sensibilidad, la volatilidad y la liquidez en los últimos tres años. Los resultados de la investigación concluyen que el modelo propuesto predice con mayor exactitud los retornos, al compararlo con los resultados del modelo de valoración de activos financieros en términos anuales, trimestrales y mensuales.

### **1.1 Palabras Claves**

Modelo de valoración de activos financieros, criptomonedas, rendimiento, multifactorial.

### **Abstract**

In recent years, cryptocurrencies have attracted the attention of many investors due to their high yields, however, they do not take the risk of owning this financial instrument because they do not understand its nature, so there are few financial tools that can be used to mitigate the risks of adding them to their investment portfolio. The objective of this study is propose a valuation model that is better adapted to those usually used, extracting the variables that are most correlated with price fluctuations. The model is expressed as a multiple regression that takes into account different factors such as market, sensitivity, volatility and liquidity over the last three

years. The results of the investigation conclude that the proposed model predicts returns more accurately than the CAPM results in annual, quarterly and monthly terms.

## **1.2 Key Words**

Capital Asset Pricing Model, cryptocurrencies, return, multifactor.

## **2. Introducción**

### **2.1 Justificación**

La tecnología ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, lo que ha llevado a la combinación de la industria tecnológica y financiera. Las criptomonedas, como el Bitcoin, son un medio de inversión novedoso que ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. Sin embargo, también han sido asociadas con grandes pérdidas, que se pueden atribuir a una serie de factores, como la búsqueda de grandes rentabilidades a corto plazo, el marketing engañoso, las estafas y la falta de conocimiento sobre cómo invertir en criptomonedas.

El mercado criptográfico ha sido desafiante desde sus comienzos, debido a la especulación y reglamentación que lo rodean. Lo cual ha llevado a una volatilidad significativa. Recientes estudios han demostrado una tendencia a estabilizarse en el largo plazo. Sin embargo, es necesario desarrollar herramientas que faciliten la participación en el mercado y mitiguen los riesgos. Implementar modelos predictivos tradicionales es complejo debido a la heterogeneidad de los datos y las variables involucradas. Como lo es el CAPM, que es un modelo de valoración de activos financieros. Por lo tanto, el propósito de la presente investigación es proponer nuevos modelos de predicción que puedan ser utilizados por los inversionistas para tomar decisiones en la construcción de su portafolio que incluye criptomonedas.

## **2.2 Planteamiento del problema**

El modelo Capital Asset Pricing Model (CAPM), Implica que el rendimiento de una inversión es la variable endógena, mientras que las variables exógenas son la tasa libre de riesgo y el rendimiento del mercado. Actualmente, enfrenta un problema en la aplicación del modelo en las criptomonedas por su poca conveniencia en este contexto.

En primer lugar, ya se han construido más modelos que pretenden reemplazar el CAPM por su poca eficacia, por ejemplo, el modelo multifactorial. En segundo lugar, la alta volatilidad aumenta el valor residual en las predicciones, lo que reduce la confiabilidad en las estimaciones del modelo. En tercer lugar, la errática correlación con los activos tradicionales. Por último, variables importantes que el modelo no considera (supply, naturaleza descentralizada, eventos, manipulación de información, adopción y liquidez).

Los inversores dependen de información precisa y oportuna para tomar decisiones; por ende, utilizan modelos predictivos. Estos modelos contribuyen a la identificación de oportunidades y problemas. La construcción y el mejoramiento de los modelos de predicción para el comportamiento del precio de las criptomonedas impulsan una mayor innovación en la tecnología y su aplicación en los mercados financieros. Al abordar esta dificultad, se fomenta la investigación en la creación y mejora de modelos de predicción para el comportamiento de los precios de las criptomonedas. A su vez, promueve la exploración de enfoques basados en la ciencia de datos para el desarrollo de modelos más adecuados y actualizados, impulsando así la evolución de los mercados financieros.

## **2.3 Pregunta de investigación**

Evaluando la poca efectividad que tendría usar el CAPM para analizar el comportamiento de los cryptoactivos, ¿Cuáles son las variables necesarias para ajustar el Modelo de Valoración de

Activos de Capital a las criptomonedas con el fin de mejorar la precisión de las predicciones, considerando sus comportamientos irregulares?

## **2.4 Objetivo general**

- Modificar el Modelo de Valoración de Activos de Capital (CAPM) incorporando variables específicas del mercado criptográfico para realizar un análisis del comportamiento.

## **2.5 Objetivos específicos**

- Analizar las limitaciones y supuestos del Modelo CAPM tradicional de los autores más recientes, con respecto a la investigación de criptoactivos.
- Investigar variables explicativas de los criptoactivos que se asemejen a factores de modelos mejorados del CAPM, recopilando datos históricos que influyan sobre su rendimiento.
- Proponer una nueva versión del CAPM que integre las variables específicas del mercado criptográfico, en términos de rendimiento esperado y riesgo.
- Validar la funcionalidad de la modificación del CAPM en el mercado criptográfico, en relación de un análisis predictivo.

# **3. Antecedentes**

## **3.1 Marco teórico**

El CAPM, o Capital Asset Pricing Model, es un modelo de valoración de activos financieros. El cual estima la tasa de retorno del activo, y se obtiene la relación entre riesgo de inversión y rentabilidad esperada. Sin embargo, ha sido adaptado y modificado por diferentes

autores a lo largo del tiempo. Esta fórmula ha sido ampliamente utilizada en la literatura financiera, pero que ha sido objeto de críticas debido a su incapacidad para explicar ciertas anomalías en la valoración de activos. Los autores argumentan que las desviaciones significativas de la versión incondicional requerirían variaciones de tiempo grandes en betas y rendimientos esperados. (Jonathan Lewellen, 2006).

El CAPM tiene varias limitaciones. En primer lugar, el modelo se basa en supuestos simplificados, como la existencia de un mercado perfecto y la homogeneidad de los inversores. En segundo lugar, es difícil estimar el beta, ya que está sujeto a errores. En tercer lugar, no considera otros factores de riesgo, como el riesgo específico del activo, el riesgo de crédito o el riesgo de liquidez. En cuarto lugar, solo explica una parte de la variación del rendimiento de un activo financiero, dejando una parte sin explicar que puede ser importante para los inversores. (Pankaj Agrawal, 2022).

Desde este punto es evidente que el CAPM tiene vacíos y limitaciones. Otros autores crean modelos condicionales para adaptarlo a la realidad económica del mercado. Por ejemplo, una modificación considera tres extensiones del modelo. La primera son cargas factoriales variables en el tiempo, obtenidas a partir de un GARCH multivariante y correlaciones condicionales dinámicas. La segunda es la ampliación de momentos del CAPM incorporando coskewness y cokurtosis. Por último, primas de riesgo variables en el tiempo, basadas en un proceso de conmutación de Markov. (Vendrame, Tucker, & Guermat, A conditional higher-moment CAPM, 2023). Con estas extensiones, los resultados del modelo son mucho mejores que los de su versión tradicional.

De igual manera, esta reinterpretación se ha aplicado a activos individuales en el cual se realizaron pruebas empíricas del modelo condicional y el de cuatro momentos condicionales,

junto con pruebas de algunos modelos alternativos. Los resultados mostraron que, al modelar los rendimientos de acciones individuales, la prima de riesgo es positiva y significativa, como se esperaba del CAPM, y que la coeskwess es significativa y tiene el signo negativo esperado. El mejor modelo se obtiene cuando se añade el factor Fama-French small-minus-big (SMB) a la versión de cuatro momentos, lo que sugiere que puede mejorar el rendimiento del CAPM estándar. (Vendrame, Tucker, & Guermat, Some extensions of the CAPM for individual assets, 2016)

Por otra parte, al comparar el CAPM con modelos APT teniendo en cuenta el riesgo, se obtuvo que el problema general de elección de cartera y los modelos clásicos APT y CAPM cuando los niveles de riesgo están dados por medidas de riesgo más allá de la varianza. Se incluyen en el análisis medidas de riesgo coherentes y medidas de desviación generales. El documento da condiciones de optimalidad generales e introduce nuevas nociones como la compatibilidad fuerte entre precios y riesgos. Se muestra que la falta de compatibilidad lleva a problemas de elección de cartera no acotados, aunque obtener interpretaciones económicas es complejo. Se caracterizan y analizan modelos con un precio de riesgo de mercado, y se presentan desarrollos similares a APT y CAPM que no modifican las definiciones clásicas de las betas, (Balbás, Balbás, & Balbás, 2010).

Las diferentes adaptaciones son ejemplos de cómo el Capital Asset Pricing Model se puede ajustar a diferentes necesidades y requerimientos. Ahora bien, al utilizar el modelo en base al riesgo para aplicarlo en inversiones en criptomonedas, se debe definir y entender qué son las criptomonedas. Son consideradas activos digitales que poseen valor y actúan como un medio de intercambio. Pueden ser empleados para llevar a cabo transacciones en línea o entre individuos sin requerir la intervención de un servidor central para validar dichas transacciones (Sheets &

Xiaoqiong, 2019). Actualmente hay más de 1,800 criptomonedas disponibles en el mercado, siendo la más conocida el Bitcoin. Además, las criptomonedas presentan una rentabilidad media y una volatilidad mayores que los índices bursátiles, lo que atrae a los inversores que asumen riesgos. (Cortês Godinho, Osório Rupino Da Cunha , & Correia Virtuoso Sebastião, 2021).

En las criptomonedas es necesario entender su comportamiento, porque están emergiendo como una clase de activos financieros cada vez más relevantes en los mercados. La aplicación de modelos de regresión lineal y no lineal para analizar el comportamiento de los precios de las 10 criptomonedas más importantes durante los periodos previos y posteriores a la pandemia de COVID-19. Al comparar los resultados obtenidos mediante los diferentes modelos, se concluyó que los modelos no lineales lograron un mejor ajuste a los datos, especialmente durante los períodos de alta volatilidad del mercado. Se destaca la importancia de utilizar modelos no lineales en la predicción de precios de criptomonedas debido a su naturaleza altamente volátil y no lineal, (Neslihanoglu, 2021).

Cuando se desea aplicar el CAPM en las criptomonedas, un factor clave a estudiar es el riesgo. Para entender el riesgo en inversiones alternativas, se discute la importancia de modelos de riesgo precisos en la asignación de activos para inversiones alternativas. Cuando se menciona inversiones alternativas, se refiere a los hedge funds y los fondos de capital privado, que tienen características de riesgo únicas que no pueden ser adecuadamente modeladas por los modelos tradicionales de asignación de activos, como el Modelo de valoración de activos financieros. En cambio, se necesitan modelos de riesgo específicos para evaluar adecuadamente el riesgo de estas inversiones y tomar decisiones de asignación de activos informadas, (Pedersen, Page, & He, 2014).

Los principales riesgos que tienen las criptomonedas son la formación de los retornos de las criptomonedas mediante el uso del índice CRIX, que es un índice ponderado de las principales criptomonedas. Se demuestra la relación entre los retornos de las criptomonedas y los factores macroeconómicos como las tasas de interés y los precios del petróleo. Los resultados indican que los factores macroeconómicos no son significativos para explicar los retornos de las criptomonedas, (Tavares, Caldeira, & Raimundo Júnior, 2021). Asimismo, se observa que los retornos de los cryptoactivos son altamente volátiles, por lo que es necesaria la diversificación en el mercado de criptomonedas debido a la alta correlación entre los rendimientos.

También, la mayoría de los inversionistas utilizan la varianza como medida de riesgo y la esperanza matemática como medida de retorno. Sin embargo, estas medidas pueden ser inadecuadas para capturar la complejidad del riesgo real asociado a los activos financieros, y más aún a los activos alternativos. Por otra parte, se destaca que la percepción del riesgo es subjetiva y puede variar de una persona a otra. Los inversionistas pueden tener diferentes niveles de aversión al riesgo, lo que puede afectar su percepción de la probabilidad de ganar o perder dinero en un activo financiero, (Ganzach, 2000).

Los precios de los diferentes activos financieros en el mercado bursátil son, además de un análisis de valor para la sociedad, una especulación por parte de los inversionistas. Mediante el índice VIX (volatilidad), cómo el mercado criptográfico se puede considerar como herramienta de cobertura teniendo en cuenta las políticas de riesgo. Las inversiones en este tipo de activos son más riesgosas en situaciones de crisis, debido a su volatilidad, pero que una vez pasado ese periodo, son las que mejor recuperación demuestran, (Assaf, Mokni, & Youssef, 2023). Al respecto, es adecuado saber diversificar los diferentes activos dependiendo de la situación global.

A pesar de que la predicción del comportamiento de los activos presenta dificultades, se debe analizar las conexiones entre estos, así evitando signos de inestabilidad.

Un estudio va acorde a la propagación del virus y el alza del oro como activo de refugio hicieron que se perdiera la correlación entre la divisa euro y la criptomoneda Bitcoin. A su vez, se demuestra una fuerte varianza en el comportamiento que genera las cincuenta compañías más importantes de la zona Euro (STOXX50), en el precio de Bitcoin, (Karagiannopoulou, Ragazou, Passas, Garefalakis, & Sariannidis, 2023). De igual forma, autores quieren demostrar si existe o no una relación de las criptomonedas con otros activos convencionales, las cuales se terminan acoplando a los datos económicos, (Wątopek, Kwapien, & Drożdż, 2023).

Ya analizada una adecuada diversificación de las criptomonedas con activos convencionales, se examina la interrelación de las criptomonedas con algunas divisas de Europa, exceptuando el Euro. Utilizando la regresión cuantílica incondicional, se llegan a varias conclusiones estadísticamente significativas. En primer lugar, en condiciones de mercado estables, el aumento en el precio del Bitcoin tendrá cierta consecuencia de la apreciación de las divisas. En segundo lugar, en situaciones de crisis como la pandemia, una disminución en el precio de los tipos de cambio, en promedio, el precio de Bitcoin tenderá a subir, claro que se notaron algunas heterogeneidades con algunas monedas. Por último, se nota un impacto de las políticas monetarias en el precio de Bitcoin, (Dumitrescu, Obreja, Leonida, Mihai, & Trifu, 2023).

De igual forma, es esencial al medir el riesgo de los criptoactivos analizar su comportamiento en momentos de crisis. Un estudio analiza el rendimiento de seis modelos de VaR diferentes en la predicción del riesgo de pérdida de inversión en criptomonedas en momentos de alta volatilidad. Aunque, durante períodos de estrés extremo del mercado, los

modelos de VaR no fueron efectivos para predecir el riesgo de pérdida de inversión. La investigación concluye que los modelos de VaR no son una herramienta confiable para predecir el riesgo en momentos de estrés extremo del mercado en criptomonedas. Además, afirma que se necesita desarrollar nuevos modelos de riesgo más efectivos para estos casos, (Likitrachoen, Chudasring, Pinmanee, & Wiwattalamphong, 2023).

La necesidad de encontrar modelos que sirvan para predecir el precio de las criptomonedas es inmediata, así como existen con las empresas, debido a que tienen mayores datos de estudio. No obstante, la atención actual se está enfocando en el novedoso tipo de activo. Por ejemplo, se usa el algoritmo XGBoost y random forest combinando varias regresiones, tales como vectores de soporte simple, vectores de mínimos cuadrados y vectores de soporte gemelos, (Zhu, y otros, 2023). Los parámetros se terminan optimizando para constatar que se presentan mejoras en los efectos de predicción, así como la velocidad del cálculo es mayor.

Así mismo, autores interpretan modelos aún más complejos para la predicción del precio de las criptodivisas con deep learning y boosted trees. En este caso, debido a que la volatilidad de las criptomonedas tiene bastantes variables de heterogeneidad, no se llegan a resultados óptimos con modelos convencionales, (Oyedele, Ajayi, Oyedele, Bello, & Jimoh, 2023). En esta oportunidad, se evalúa mediante un algoritmo genético sintonizado, efectuando deep learning en redes neuronales. En referencia a los árboles potenciados, el modelo llamado CNN demuestra menor rango de error.

## **4. Metodología**

### **4.1 Tipo de estudio**

La investigación experimental es una Investigación científica en la que el investigador manipula y controla una o más variables independientes, observando la variable dependiente en busca de cambios correlacionados con la manipulación de la variable independiente.

### **4.2 Método**

La elaboración del modelo se basa en variables cuantitativas, siguiendo la ideología de Lakatos y su influencia de Popper y Kuhn. Es importante recordar que Lakatos se opone al falsacionismo, el cual establece que para que una teoría sea considerada científica, debe ser empíricamente falsable. Esto significa que, sin la aparición de algo que refute la teoría, su veracidad persistirá. A su vez, si es falseada, se explica como la forma en que, al compararse con la realidad, no se encuentra ningún caso que la contradiga.

Lakatos reformula la ideología restrictiva al razonar que las teorías siempre presentarán algún tipo de anomalía que impida que cumplan con sus predicciones científicas. Por tal motivo, una teoría no debería ser rechazada una vez que falle en la observación o el experimento; más bien, debe ser mejorada y considerada como un programa de investigación, (Lakatos, 2021).

Por otra parte, para la presente investigación, se extrajeron los datos de plataformas financieras como Yahoo Finance, Refinitiv, CoinMarketCap y la herramienta Trends de Google. Con la información recopilada de las principales criptomonedas actualmente, Bitcoin, Ethereum y Cardano, se construyeron las bases de datos adaptadas a las variables necesarias para la elaboración del modelo.

### **4.3 Variables**

El modelo CAPM tiene desarrollada la siguiente fórmula para calcular el rendimiento esperado de los activos financieros.

$$E[R_s] = r_f + \beta[E(rM) - r_f]$$

Donde,

- $E[R_s]$  = tasa de rendimiento para el activo evaluado.
- $r_f$  = rentabilidad esperada de un activo sin riesgo.
- $\beta$  = es una medida de sensibilidad que permite conocer la variación relativa de rentabilidad de un activo financiero en relación con algún índice de referencia.
- $E(rM)$  = rentabilidad esperada del mercado donde está cotizando el activo.

En realidad, un conjunto de inversiones abarca más que simplemente acciones. Comprende bonos, propiedades inmobiliarias, obras de arte, metales preciosos y criptomonedas. Sin embargo, los investigadores utilizan carteras proxy como el S&P 500 y esperan que estén altamente correlacionadas con la cartera real del mercado. Si el portafolio de mercado es bueno, pero la cartera proxy no está estrechamente relacionada con el mercado real, entonces el proxy no será eficiente y los retornos implican alfas distinto de cero.

Los rendimientos de la acción para una empresa no siempre se evalúan en función de factores como el valor libre de riesgo y el riesgo que los inversores están dispuestos a asumir. En cambio, se centran en factores con los que puedan tener correlación, la forma en la que se puede considerar las nuevas variables basada en la fórmula del CAPM es de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} E[R_s] &= r_f + \beta_s^{F1} E[R_{F1}] + \beta_s^{F2} E[R_{F2}] + \dots + \beta_s^{FN} E[R_{FN}] \\ &= r_f + \sum_{n=1}^N \beta_s^{FN} (E[R_{FN}]) \end{aligned}$$

Donde,

- $\beta_s^{f1} \dots \beta_s^{fN}$  = Betas de los factores que modifican la rentabilidad del activo, cada uno es un factor de riesgo.

Lo que se requiere es identificar un conjunto de variables, las cuales construyan un modelo para tener evaluación de portafolio eficiente. Por ejemplo, en el modelo de Fama & French se tiene en cuenta el tamaño de una empresa, su valor de mercado comparado con el valor en libros y su exceso de rentabilidad, su fórmula es la siguiente:

$$E[R_i] = R_f + \beta_s^{mkt}(RMRF) + \beta_s^{size}(SMB) + \beta_s^{value}(HML) + \varepsilon_{is}$$

Donde,

- RMRF=  $R_m - R_f$ , prima de riesgo, rentabilidad del activo menos la tasa libre de riesgo.
- SMB= Small minus Big. Retorno promedio de 3 portafolios de small cap menos el retorno promedio de 3 portafolios de large cap.
- HML= High minus Low= retorno promedio de 2 portafolios de alto book to market menos el promedio de retorno de 2 portafolios de bajo book to market. Alto book to value equivale a PVL bajo y bajo book to value equivale a alto PVL.
- $E_i$  = el valor no sistemático del activo que influye en su rentabilidad.

#### 4.4 Variables explicativas

Se presentan las variables que pueden explicar el comportamiento de los retornos para las criptomonedas, todos no son económicos porque el mercado criptográfico es un mercado nuevo que necesita aún tiempo para revelar parámetros contables y financieros. De manera que, se emplean datos que se suelen analizar en los análisis de trading para las operaciones, abarcando desde volatilidades de importantes índices tanto bursátiles como de comportamiento humano. La fórmula se denota así:

$$E[R_i] = R_f + \beta_s^{mkt}(R_M - R_f) + \frac{\beta_s^{stn}(\Delta F\&G)}{\beta_s^{stn}(\Delta TN)} + \beta_s^{vlt}(\Delta VIX) + \beta_s^{liq}\left(\Delta \frac{vol}{Capmer}\right) + \varepsilon_{is}$$

Donde, hay cuatro factores que hacen referencia al riesgo sistemático del criptoactivo y uno que representa el riesgo no sistemático.

- $R_f + \beta_s^{mkt}(R_M - R_f)$  es el factor mercado, no se consideran los rendimientos del índice S&P500 como es usual, sino el índice NASDAQ, el cual tiene mayor correlación con el mercado criptográfico, incluye cien de las empresas tecnológicas más grandes según el volumen de compraventa de sus acciones.
- $\frac{\beta_s^{stn}(\Delta F\&G)}{\beta_s^{stn}(\Delta TN)}$  es el factor sensibilidad, cómo numerador se considera la variación de “Crypto Fear & Greed Index”, mientras el denominador es el índice normalizado de las tendencias de Google para la palabra que refiere a la criptomoneda. Ambos índices tienen rango de 1 a 100, el primero indica según los sentimientos de miedo y codicia cómo está el sentimiento del mercado en el momento, el segundo es un cálculo entre el mayor y respectivo volumen de búsquedas en Google para el periodo. Se realiza una división para considerarse como un solo indicador, si se agregará otro factor estaría explicando casi lo mismo para la variable dependiente, conlleva a multicolinealidad
- $\beta_s^{vlt}(\Delta VIX)$  es el factor volatilidad, se tiene en cuenta el índice de volatilidad que es calculado a partir de los retornos para el S&P500. Si el valor del VIX aumenta, es probable que el valor del S&P500 se reduzca. Así mismo, si el precio del VIX disminuye, en promedio el S&P500 se mantendrá estable.

- $\frac{\beta_s^{pfm}(\Delta Capmer)}{\beta_s^{pfm}(\Delta Vol)}$  es el factor desempeño, en el numerador se encuentra las variaciones de la capitalización de mercado y en el denominador, las diferencias es los volúmenes de transacción para el criptoactivo.
- $\varepsilon_{iS}$  no es un factor para evaluar, este denota el error que suele presentarse en los modelos, para el presente estudio son las variables que le corresponde como tal a las operaciones del equipo detrás del funcionamiento de la criptomoneda (riesgo no sistemático).

#### 4.5 Variable dependiente

- $E[R_i]$  es el retorno esperado de la criptomoneda evaluada.

#### 4.6 Muestra y ventanas de estimación

La muestra tomada corresponde a datos obtenidos de la criptomoneda Bitcoin, Ethereum, y Cardano. Extrayendo las variables que mejor representan su volatilidad, cada una de las variables están de modo periodicidad semanal a partir de enero 1 del 2020, hasta septiembre 13 del 2023. Se trabaja con este periodo puesto que fue la data histórica en la que más se presentaron cambios en las variables debido a la incertidumbre económica generadas por la pandemia. Se utiliza el total de la muestra para la construcción del modelo, teniendo las observaciones suficientes para entrenarse, se determinan correlaciones, se estiman los beta, se analiza la significancia estadística de cada una de las variables y finalmente un reajuste al modelo para evaluar su efectividad en diferentes periodos de la muestra. De igual modo, se utilizan los resultados para evaluar si las predicciones que estima el modelo tienen un valor numérico cercano al real, así mismo analizar si el modelo planteado es más preciso que si la predicción de retornos se elabora con el modelo CAPM.

#### 4.7 Herramientas y técnicas

Las técnicas empleadas para la construcción del modelo incluyen la regresión múltiple, un procedimiento estadístico utilizado para analizar la relación entre una variable dependiente y dos o más variables independientes. Dicha técnica trata de una ampliación de la regresión lineal simple y se utiliza en situaciones donde existe una variable dependiente y múltiples variables independientes. La regresión múltiple, busca encontrar los valores óptimos de los coeficientes beta para que el modelo se ajuste de manera más precisa a las observaciones. Además, las herramientas utilizadas estarían demostradas en hojas de cálculo de Microsoft Excel 365.

#### 4.8 Fuentes de información

Los datos se descargaron de la plataforma Refinitiv, y de las páginas web que corresponden al sitio Coinmarketcap, Yahoo finance y trends Google con la extensión Glimpse.

### 5. Presentación de resultados

Una vez que se obtiene los resultados de la regresión múltiple para las distintas criptomonedas, se extrae el valor de los beta, que luego van a multiplicar a los factores determinando su significancia en las fluctuaciones de la variable dependiente, siendo los retornos. De igual modo se calcula el beta para el modelo CAPM con el objetivo de realizar comparaciones entre las predicciones de los modelos y el valor real de los retornos según el rango de tiempo que se evalúe. A continuación, se presentan las fórmulas.

#### Formula 1.

*Factores y coeficientes desde el modelo y CAPM en bitcoin*

$$E[R_i] = R_f + 0,92(R_M - R_f) + \frac{-0,03(\Delta F\&G)}{-0,07(\Delta TN)} - 0,11(\Delta VIX) - 0,01\left(\Delta \frac{vol}{Capmer}\right) + \varepsilon_{is}$$

$$E[R_i] = R_f + 1,70(R_M - R_f)$$

**Fuente:** Elaboración propia

### **Formula 2**

*Factores y coeficientes desde el modelo y CAPM en ethereum*

$$E[R_i] = R_f + 1,36(R_M - R_f) + \frac{-0,03(\Delta F\&G)}{-0,004(\Delta TN)} - 0,11(\Delta VIX) - 0,01\left(\Delta \frac{vol}{Capmer}\right) + \varepsilon_{is}$$

$$E[R_i] = R_f + 2,46(R_M - R_f)$$

**Fuente:** Elaboración propia

### **Formula 3**

*Factores y coeficientes desde el modelo y CAPM en cardano*

$$E[R_i] = R_f + 1,30(R_M - R_f) + \frac{-0,02(\Delta F\&G)}{0,10(\Delta TN)} - 0,15(\Delta VIX) - 0,003\left(\Delta \frac{vol}{Capmer}\right) + \varepsilon_{is}$$

$$E[R_i] = R_f + 2,51(R_M - R_f)$$

**Fuente:** Elaboración propia

En general, se evidencia en las fórmulas que el parámetro que acompaña al factor mercado tiene gran impacto en la variable dependiente para las tres criptomonedas, esto confirma que el modelo CAPM, base de la investigación, sí explica con su único factor gran parte de los rendimientos que tiene una criptomoneda, no obstante, es necesario emplear más factores que, aunque su relevancia sea menor, colabora con un resultado más preciso en la predicción. Cabe recordar que, el factor del mercado está correlacionado con el NASDAQ, índice tecnológico para las empresas de alta tecnología mientras que el CAPM utiliza el índice S&P500, indexado a las

empresas más importantes de Estados Unidos; el segundo factor que más relevancia presenta en las fórmulas es el VIX, los demás parámetros poseen menor ponderación en el modelo.

Los segmentos de tiempo que se utilizaron para evaluar los resultados con los modelos y compararlos con los valores reales están separados en anualidades y trimestres, siendo por un lado tres años que es la base de datos total, dos años y un año hasta casi la actualidad, por otro lado, los últimos diez semestres abarcando casi la totalidad de los datos.

## 6. Análisis de resultados

### 6.1 Análisis bitcoin

A continuación, se analizarán los resultados obtenidos del modelo. La primera criptomoneda presentada es bitcoin.

**Tabla 1**

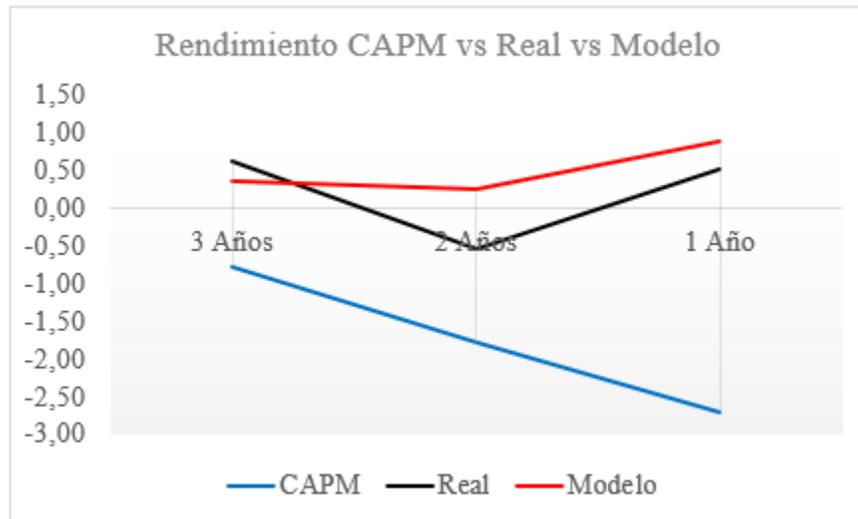
*Comparativa entre los resultados anuales de los modelos y el valor real de bitcoin.*

<b>Años</b>	<b>CAPM</b>	<b>Real</b>	<b>Modelo</b>
3 Años	-0,77	0,61	0,35
2 Años	-1,79	-0,54	0,25
1 Año	-2,71	0,51	0,89

**Fuente:** elaboración propia

### **Ilustración 1**

*Rendimientos anuales CAPM vs Real vs Modelo - bitcoin*



**Fuente:** elaboración propia

Los resultados obtenidos evidencian que para cada anualidad el modelo presenta rendimientos más cercanos al valor real en comparación con los del CAPM que ilustran una tendencia bajista cuando en realidad no fue así. El modelo de investigación, aunque lo hizo de forma más suavizada, tiene forma similar a la línea del valor real, teniendo un rebote en el rendimiento para los últimos dos años. Ahora bien, la diferencia de los rendimientos se exhibe en la siguiente tabla.

**Tabla 2**

*Diferencia entre los resultados anuales de cada modelo con el valor real- bitcoin*

Años	CAPM	Modelo
3 Años	1,384	0,265
2 Años	1,250	0,791
1 Año	3,219	0,381
	1,951	0,479

**Fuente:** elaboración propia

Se calcula el promedio de las predicciones en los diferentes años, se concluye que el modelo en la criptomoneda bitcoin presenta una desviación media de 0,479% mientras el CAPM se desvía más con un valor de 1,951%, lo que representa cerca de cuatro veces la desviación del modelo de estudio. En el CAPM, la predicción que más provoca que la desviación aumente es a un año entonces se decide tomar segmentos de tiempos más cercanos a la actualidad para determinar si el modelo CAPM sigue aumentando su desviación, de igual forma se continúa estudiando los resultados con el otro modelo que tuvo la mayor desviación justo en el segmento de tiempo que el modelo CAPM se desvió menos. Si se realiza una comparación entre los dos métodos de cual fue más eficiente, el modelo de investigación tendría el 100% en esta oportunidad.

Por otro lado, al realizar el análisis en un periodo de más corto plazo, tomando 10 trimestres se obtiene:

**Tabla 3**

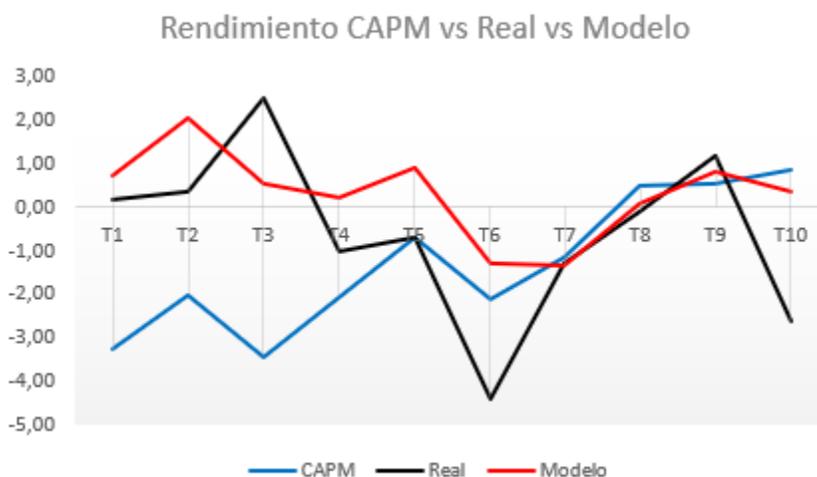
*Comparativa entre los resultados de los modelos y el valor real de bitcoin - trimestres*

Trimestres	CAPM	Real	Modelo
T1	-3,27	0,19	0,73
T2	-2,02	0,36	2,04
T3	-3,43	2,54	0,57
T4	-2,06	-1,02	0,23
T5	-0,70	-0,69	0,91
T6	-2,10	-4,40	-1,31
T7	-1,14	-1,31	-1,33
T8	0,50	-0,08	0,07
T9	0,53	1,18	0,82
T10	0,86	-2,62	0,34

**Fuente:** Elaboración propia

**Ilustración 2**

### *Rendimientos trimestrales CAPM vs Real vs Modelo - bitcoin*



Si se modifica la segmentación del tiempo en años a trimestres, se puede deducir que los modelos se equilibran, el modelo de investigación ya no tiene la predicción más exacta para cada periodo evaluado. En la gráfica se puede notar que las predicciones del modelo CAPM ya no se alejan como en las predicciones anuales, sino que se mantiene, al igual que las predicciones del modelo, cerca de los valores reales y cruzándose. Las dos líneas de predicciones tienen forma similar a los valores reales y buscan cumplir con los picos de los valores reales como en el trimestre tres, seis y nueve.

#### **Tabla 4**

*Diferencia entre los resultados trimestrales de cada modelo con el valor real-bitcoin*

Trimestre	CAPM	Modelo
T1	3,462	0,545
T2	2,376	1,684
T3	5,974	1,973
T4	1,043	1,251
T5	0,013	1,606
T6	2,294	3,092
T7	0,163	0,030
T8	0,580	0,153
T9	0,644	0,355
T10	3,484	2,963
	2,003	1,365

**Fuente:** Elaboración propia

Se calcula el promedio de las predicciones para los distintos trimestres, se constata que el modelo en la criptomoneda bitcoin presenta una desviación media de 1,37% mientras el CAPM se desvía más con un valor de 2,00%. A pesar de que las líneas se cruzaran en la gráfica y fuera complejo determinar qué método, predijo mejor los retornos trimestrales, con el promedio de desviación se determina que el modelo de estudio tuvo mejor desempeño. Si se realiza una comparación de que modelo estuvo más cerca del valor real, el CAPM solo tendría el 30% de las veces y el modelo el 70%.

## 6.2 Análisis ethereum

El mismo análisis se hace para la segunda criptomoneda, ethereum. Las predicciones en los retornos según los modelos y los retornos reales se pueden visualizar en lo siguiente:

**Tabla 5**

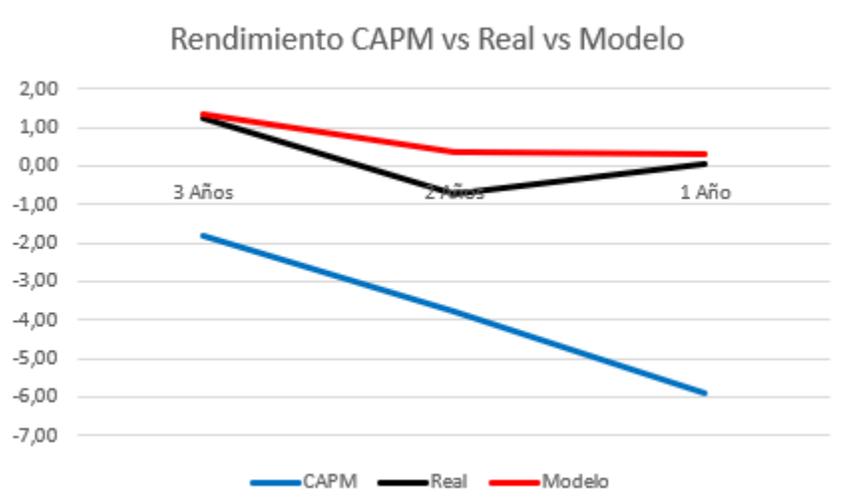
*Comparativa entre los resultados anuales de los modelos y el valor real de ethereum.*

Años	CAPM	Real	Modelo
3 Años	-1,79	1,27	1,34
2 Años	-3,74	-0,70	0,36
1 Año	-5,91	0,07	0,34

**Fuente:** Elaboración propia

### Ilustración 3

*Rendimientos anuales CAPM vs Real vs Modelo - ethereum*



**Fuente:** Elaboración propia

Al igual que en bitcoin, las predicciones anuales son más exactas con el modelo si se compara con el CAPM, se ilustra que el modelo refleja la misma tendencia de los rendimientos reales y el CAPM tiene una tendencia bajista que se aleja de una buena predicción.

**Tabla 6**

*Diferencia entre los resultados anuales de cada modelo con el valor real- ethereum*

Años	CAPM	Modelo
3 Años	3,055	0,072
2 Años	3,043	1,060
1 Año	5,978	0,268
	4,026	0,467

**Fuente:** Elaboración propia

El promedio del margen de error de las predicciones en los últimos tres años es menor en el modelo con un valor de 0,467 mientras que el CAPM tiene una desviación del 4,02%.

Nuevamente en la predicción para el último año el CAPM tiene un error significativo si se compara con las otras anualidades. El modelo la anualidad que mejor predijo fue a 3 años con una desviación del 0,072% y en la que más tuvo desviación fue en los últimos dos años con 1,060%.

**Tabla 7**

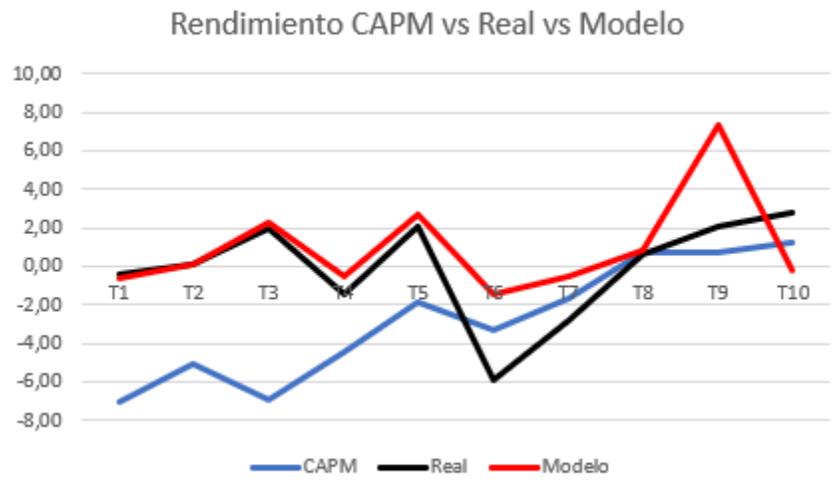
*Comparativa entre los resultados de los modelos y el valor real de ethereum. - trimestres*

Trimestres	CAPM	Real	Modelo
T1	-7,05	-0,41	-0,59
T2	-5,10	0,16	0,17
T3	-6,93	1,96	2,25
T4	-4,47	-1,38	-0,55
T5	-1,89	2,05	2,67
T6	-3,28	-5,93	-1,45
T7	-1,68	-2,75	-0,45
T8	0,69	0,68	0,88
T9	0,74	2,10	7,35
T10	1,22	2,83	-0,23

**Fuente:** Elaboración propia

**Ilustración 4**

*Rendimientos trimestrales CAPM vs Real vs Modelo - ethereum*



**Fuente:** Elaboración propia

En los trimestres los dos modelos tienen aciertos cercanos al rendimiento real de la criptomoneda en los distintos trimestres, las predicciones de los modelos acompañan la tendencia de los rendimientos reales, aunque lo hace con mayor exactitud el modelo de investigación en los primeros cinco trimestres.

**Tabla 8**

*Diferencia entre los resultados trimestrales de cada modelo con el valor real-ethereum*

Trimestre	CAPM	Modelo
T1	6,634	0,175
T2	5,261	0,009
T3	8,885	0,293
T4	3,082	0,834
T5	3,938	0,626
T6	2,652	4,482
T7	1,068	2,297
T8	0,015	0,201
T9	1,361	5,250
T10	1,611	3,065
	3,451	1,723

**Fuente:** Elaboración propia

El promedio de las predicciones indica que el modelo posee menor margen de error al pronosticar los retornos comparado con el CAPM puesto que se desvía en promedio un 1,723% y 3,451% respectivamente. Si se analiza por cada trimestre que modelo es más eficiente, el modelo ganaría en el 50% y el CAPM también. Cabe resaltar que, en los casos que el modelo CAPM era más exacto, el modelo no estaba lejos del valor real, los dos modelos predecían de forma adecuada. No obstante, en las observaciones donde el modelo predice mejor, el CAPM suele tener una alta desviación.

### 6.3 Análisis cardano

Por último, Cardano es la criptomoneda analizada a continuación:

**Tabla 9**

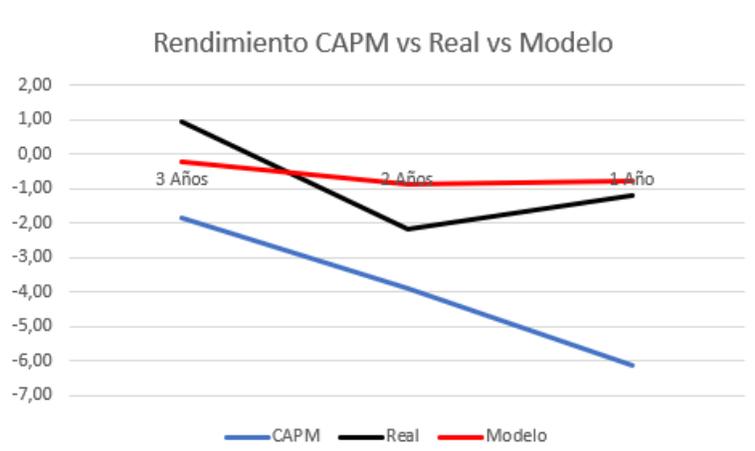
*Comparativa entre los resultados anuales de los modelos y el valor real de cardano.*

Años	CAPM	Real	Modelo
3 Años	-1,86	0,97	-0,22
2 Años	-3,87	-2,15	-0,88
1 Año	-6,12	-1,18	-0,76

**Fuente:** Elaboración propia

**Ilustración 5**

*Rendimientos anuales CAPM vs Real vs Modelo - cardano*



**Fuente:** Elaboración propia

Como en los casos anteriores, en los rendimientos anuales el modelo predice mejor que el CAPM debido que no continua la tendencia con los retornos reales.

**Tabla 10**

*Diferencia entre los resultados anuales de cada modelo con el valor real- cardano*

Años	CAPM	Modelo
3 Años	2,829	1,190
2 Años	1,723	1,271
1 Año	4,937	0,420
	3,163	0,960

**Fuente:** Elaboración propia

El promedio de margen de error del modelo es del 0,96% mientras que el CAPM tiene 3,16%. El CAPM tiene su mayor desviación en el pronóstico para el último año, tiempo en el que el modelo de investigación predijo mejor

**Tabla 11**

*Comparativa entre los resultados de los modelos y el valor real de cardano – trimestres*

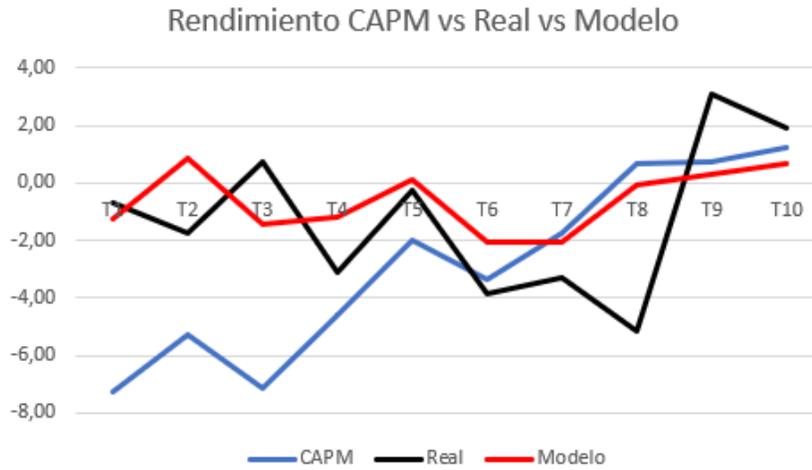
Trimestres	CAPM	Real	Modelo
T1	-7,30	-0,66	-1,26
T2	-5,31	-1,73	0,88
T3	-7,16	0,74	-1,44
T4	-4,62	-3,11	-1,18
T5	-1,97	-0,25	0,14
T6	-3,36	-3,86	-2,07
T7	-1,72	-3,26	-2,08
T8	0,71	-5,17	-0,07
T9	0,75	3,12	0,29
T10	1,24	1,93	0,65

**Fuente:** Elaboración propia

En los trimestres se evidencia que los resultados del modelo CAPM para los primeros cinco trimestres tiene una desviación notable, aunque las mismas tendencias, con los valores reales, luego corrige su desviación para estar acorde a las reales y a las predicciones hechas con el modelo.

### Ilustración 6

*Rendimientos trimestrales CAPM vs Real vs Modelo - cardano*



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 12**

*Diferencia entre los resultados trimestrales de cada modelo con el valor real-cardano*

Trimestre	CAPM	Modelo
T1	6,633	0,599
T2	3,577	2,610
T3	7,894	2,174
T4	1,513	1,934
T5	1,720	0,394
T6	0,501	1,794
T7	1,547	1,180
T8	5,879	5,105
T9	2,367	2,823
T10	0,687	1,281
	3,232	1,989

**Fuente:** Elaboración propia

Respecto a la media de las desviaciones el modelo presenta un 1,989% y el CAPM 3,232%, a pesar de que la desviación es notable, está casi equilibrado qué modelo tuvo mejor desempeño, en este caso el modelo predice mejor el 60% de las veces y el CAPM el 40%.

Después de revisar los resultados para los modelos y determinar su eficiencia. Se procede a evaluar el modelo de una forma visual desde el comportamiento de los precios en el tiempo de estudio. En el siguiente gráfico, están ajustados los precios del índice NASDAQ (línea morada) y el precio de cada criptomoneda (gráfico de velas). De este modo, se pretende determinar si existe alguna relación en qué modelo es más efectivo dependiendo de los ciclos del mercado y no solo analizando sus retornos como se ha hecho hasta el momento.

### Ilustración 7

*Efectividad del CAPM en la evolución precio NASDAQ y bitcoin*



**Fuente:** Elaboración propia desde Refinitiv

### Ilustración 8

*Efectividad del CAPM en la evolución precio NASDAQ y ethereum*



**Fuente:** Elaboración propia desde Refinitiv

### Ilustración 9

*Efectividad del CAPM en la evolución precio NASDAQ y cardano*



**Fuente:** Elaboración propia desde Refinitiv

Tomando de referencia que modelos tuvieron mayor acierto en el tiempo evaluado, las gráficas ilustran sombreado en azul, cuando el CAPM fue más preciso mientras que en el restante fue el modelo planteado. Para Bitcoin, el modelo CAPM estuvo más cercano al valor real después

de que se cambiara la tendencia alcista a bajista, en ethereum, cuando se produce justo el cambio de tendencia y con cardano, se presenta en tres momentos, antes y después del cambio de tendencia, el último momento se encuentra cerca nuevamente de un cambio de tendencia, esta vez de bajista a alcista.

Se concluye que el modelo planteado tiene mayor precisión en tendencias continuas por lo que puede ser indicador de un mercado progresivamente alcista o bajista. No obstante, la exactitud del modelo CAPM es mayor si se encuentra cerca de un cambio de tendencia o si ya se está produciendo, lo que también es pertinente para tener en cuenta en la toma de decisiones de compraventa.

## **7. Conclusiones**

En conclusión, el modelo de investigación cumple el objetivo de predecir los retornos de las distintas criptomonedas bitcoin, ethereum y cardano con un margen de error menor que los resultados obtenidos a partir del CAPM, esto quiere decir que a pesar de que el modelo CAPM sea una buena herramienta financiera para tener en cuenta en los portafolios ordinarios, en el momento que contienen criptoactivos, este no abarca en su totalidad sus características. Es razonable aplicar un modelo multifactorial adaptado a las variables que más suelen revisar los inversores en este tipo de mercado tan volátil, impulsado no por utilidades demostrables de algún proyecto en determinados periodos como lo hacen las empresas con sus acciones, sino que es un mercado más especulativo, teniendo en cuenta las promesas que comunican estas criptomonedas para la tecnología financiera del futuro.

El mercado de las criptomonedas debido a su reciente creación y falta de regulación tiene escasos indicadores que permitan realizar análisis completos como se harían con otros instrumentos financieros, sin embargo, se invita a tomar el reto de elaborar modelos matemáticos

que mitiguen el riesgo de invertir en este tipo de inversión, esto conlleva a que se inyecte más capital con una mejor adopción al mercado. En base a la confianza de los inversionistas se propone revisar el modelo planteado con distintas criptomonedas y periodicidades con la finalidad de tener mayor evaluación de sus predicciones, en caso de que no sean las esperadas, determinar que ajustes se pueden realizar para optimizarlo. Las regresiones se pueden correr anualmente, si bien el modelo planteado en la investigación tuvo todos los aciertos en términos anuales, en los trimestres, predice mejor en la mayoría de veces, pero no la totalidad de los escenarios.

## Referencias

- Assaf, A., Mokni, K., & Youssef, M. (2023). COVID-19 and information flow between cryptocurrencies, and conventional financial assets. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 73-81.
- Balbás, A., Balbás, B., & Balbás, R. (2010). CAPM and APT-like models with risk measures. *Journal of Banking & Finance*, 1166-1174.
- Cortese Godinho, P. M., Osório Rupino Da Cunha, P. J., & Correia Virtuoso Sebastião, H. M. (2021). Cryptocurrencies and blockchain. Overview and future perspectives. *International Journal of Economics and Business Research*, 305.
- Dumitrescu, B. A., Obreja, C., Leonida, I., Mihai, D. G., & Trifu, L. C. (2023). The link between Bitcoin price changes and the exchange rates in european countries with non-euro currencies. *Journal of Risk and Financial Management*, 232.
- Ganzach, Y. (2000). Judging risk and return of financial assets. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 353-370.
- Jonathan Lewellen, S. N. (2006). The conditional CAPM does not explain asset-pricing anomalies. *Journal of Financial Economics*, 289-314.
- Karagiannopoulou, S., Ragazou, K., Passas, I., Garefalakis, A., & Sariannidis, N. (2023). The impact of the COVID-19 pandemic on the volatility of cryptocurrencies. *International Journal of Financial Studies*, 50.
- Lakatos, I. (2021). Scientific research programs. *Revista Honoris Causa*.
- Likitratcharoen, D., Chudasring, P., Pinmanee, C., & Wiwattanalampthong, K. (2023). The efficiency of value-at-risk models during extreme market stress in cryptocurrencies. *Sustainability*, 4395.
- Neslihanoglu, S. (2021). Linearity extensions of the market model: a case of the top 10 cryptocurrency prices during the pre COVID 19 and COVID 19 periods. *Financial Innovation*, 38.
- Oyedele, A., Ajayi, A., Oyedele, L., Bello, S., & Jimoh, K. (2023). Performance evaluation of deep learning and boosted trees for cryptocurrency closing price prediction. *Expert Systems with Applications*, 119233.

- Pankaj Agrawal, F. W. (2022). Time Dependence of CAPM Betas on the Choice of Interval Frequency and Return Timeframes: Is There an Optimum? *Journal of Risk and Financial Management*, 520.
- Pedersen, N., Page, S., & He, F. (2014). Asset allocation: risk models for alternative investments. *Financial Analysts Journal*, 34-45.
- Sheets, B., & Xiaoqiong, W. (2019). Are Cryptocurrencies Good Investments? *Studies in Business and Economics*, 181-192.
- Tavares, R. d., Caldeira, J. F., & Raimundo Júnior, G. d. (2021). Cryptocurrencies: formation of returns from the CRIX index. *Applied Economics Letters*, 691-695.
- Vendrame, V., Tucker, J., & Guermat, C. (2016). Some extensions of the CAPM for individual assets. *International Review of Financial Analysis*, 78-85.
- Vendrame, V., Tucker, J., & Guermat, C. (2023). A conditional higher-moment CAPM. *International Review of Financial Analysis*, 102524.
- Wątopek, M., Kwapien, J., & Drożdż, S. (2023). Cryptocurrencies are becoming part of the world global financial market. *Entropy*, 377.
- Zhu, Y., Ma, J., Gu, F., Wang, J., Li, Z., Zhang, Y., . . . Yang, X. (2023). Price prediction of Bitcoin based on adaptive feature selection and model optimization. *Mathematics*, 1335.