



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y SOCIALES

ESCUELA DE ECONOMÍA

COMPORTAMIENTO DE LOS PRECIOS DE CRIPTOACTIVOS Y SU RELACIÓN CON VARIABLES FINANCIERAS Y TECNOLÓGICAS

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Economista

Autores:

Marval Saavedra, María Angélica

Rodríguez Muñoz, Andrea Carolina

Tutor:

Dr. José Contreras

Caracas, junio de 2020

DEDICATORIAS

A Jenny Carolina, piedra angular de mis sueños y éxitos, a ella dedico cada meta alcanza.
A Magín Orlando, mi ángel omnipresente, gracias a sus palabras y sabiduría sin fecha de caducidad. Los amo siempre.

Andrea Rodriguez M.

A mis padres, Marlene Saavedra y Edgar Marval, porque lo que soy y seré es gracias a su amor, apoyo y dedicación. Todo mi trabajo y mejores esfuerzos son para ustedes.

María Angélica Marval.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá, por su incondicional apoyo, ánimo y amor, a ella debo todo lo bueno de mi pasado, presente y futuro. Gracias por ser y estar.

A mi papá, quien desde hace 13 años partió a un lugar mejor, pero está conmigo en cada sentimiento, decisión y éxito. Su ejemplo de constancia, profesionalismo y calidad humana son mi constante guía.

A María Angélica, amiga desde el primer día en esta carrera. A ella agradezco su confianza plena en mí, su pasión por hacer las cosas bien, su valentía para asumir retos y su determinación para superar los obstáculos.

Andrea Rodríguez M.

Gracias mamá por enseñarme con tu ejemplo a alcanzar cualquier meta profesional y académica que me proponga, eres mi modelo a seguir por tu manera de resolver cualquier situación mientras mantienes la alegría y el positivismo en el camino.

Gracias papá por creer y en mí y tener tanta fe en que alcanzaré lo que deseo y más. Eres el mejor maestro, gracias por darme tantas herramientas que me han servido a lo largo de mi vida y sé que seguirán abriendo puertas en el futuro.

A mi hermana Andreína, por ser la persona que mejor me entiende y conoce en el mundo, por su apoyo y disposición para ayudarme, también por todas las risas que traen sus ocurrencias.

A Andrea Rodríguez, mi grandiosa compañera de tesis, mi primera amiga en esta universidad, con la que he recorrido el camino para convertirnos en economistas, la que puede hacer bien 100 cosas a la vez.

Al Dr. José Contreras, por motivarnos a tomar un tema novedoso y acompañarnos en el camino con sus conocimientos, buena disposición y carisma.

A mis amigas de siempre, que me apoyan incondicionalmente y son capaces de brindar calma y felicidad incluso en los momentos más estresantes.

A la Universidad Católica Andrés Bello y la escuela de economía, por la calidad de la formación que he recibido y por la tarea titánica de mantener la excelencia incluso en situaciones de protestas, apagones y pandemias.

María Angélica Marval.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIAS	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICAS	x
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1 Planteamiento del problema.....	15
1.2 Delimitación del problema.....	16
1.3 Objetivos de la investigación.....	17
1.4 Hipótesis	17
1.5 Justificación de la investigación	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Antecedentes de la investigación.....	19
2.1.1 Bitcoin: Un Sistema de Efectivo Electrónico Peer-to-Peer. (<i>Satoshi Nakamoto, 2008</i>)	19
2.1.2 ¿Los fundamentos impulsan los precios de las criptomonedas? (<i>Bhambhwani, Delikouras, & Korniotis, 2019</i>)	20
2.1.3 Tratamiento de los Criptoactivos en la Estadística Macroeconómica. (<i>Fondo Monetario Internacional, 2018</i>).....	21
2.1.4 ¿Qué se puede esperar del Bitcoin? (van Wijk, 2013)	21
2.1.5 Valoración de equilibrio de Bitcoin y activos de red descentralizados. (<i>Buraschi & Pagnotta, 2018</i>)	22

2.1.6 Prueba de las relaciones asimétricas no—lineales a corto y largo plazo entre Bitcoin, commodities agregados y precios del oro. (*Bouri, Gupta, Lahiani, & Shahbaz, 2018*)

23

2.1.7 Criptoactivos: conductores de valor y precio de una nueva clase de activos. (*Korhonen, 2019*)..... 24

2.2 Bases Teóricas 25

2.2.1 Glosario de términos..... 25

2.2.2 Economía digital..... 26

2.2.3 Tecnología Blockchain..... 27

2.2.4 Criptoactivos:..... 28

2.2.5 Poder de cómputo 29

2.2.6 Network 30

2.2.7 Dow Jones y criptoactivos..... 30

2.2.8 Commodities y su relación con los criptoactivos 31

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO 32

3.1 Tipo de Investigación..... 32

3.2 Diseño de la Investigación..... 32

3.3 Población y Muestra 33

3.4 Datos 34

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 34

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos 35

3.6.1 Análisis de Componentes Principales..... 35

3.6.2 Prueba de estacionariedad. Dickey Fuller Aumentado..... 39

3.6.3 Prueba de cointegración..... 40

3.6.4 Modelo de Vectores Autorregresivos 41

CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS 47

4.1	Análisis de Componentes Principales	47
4.1.1	Valores propios.....	47
4.1.2	Círculo de correlación	48
4.1.3	Contribuciones de las variables	50
4.2	Análisis de estacionariedad de las variables	53
4.2.1	Dickey Fuller Aumentado	53
4.3	Prueba de Cointegración Engle y Granger.....	56
4.3.1	Estimación de la relación funcional a largo plazo	56
4.3.2	Modelos de Corrección de Errores	60
4.4	Modelos de Vector Autorregresivo.....	63
4.4.1	Prueba de Autocorrelación	65
4.4.2	Prueba de Normalidad	66
4.4.3	Prueba de Heterocedasticidad.....	67
4.4.4	Prueba de Causalidad de Granger.....	68
4.4.5	Análisis Impulso – Respuesta.....	68
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		75
REFERENCIAS		79
ANEXOS.....		82
Anexo A. Análisis de Componentes Principales.....		82
Anexo A.1 Valores propios y varianza acumulada		82
Anexo A. 2 Contribuciones		83
Anexo A.3 Variables		85
Anexo A.4 Diagramas de contribución (Dimensiones 1 y 2).....		87
Anexo B.....		90
Anexo B.1 Prueba Dickey Fuller Aumentado.....		90

Anexo B.2 Engle y Granger. Estimación de relación funcional a largo plazo.....	106
Anexo B.3 Engle y Granger. Modelo de Corrección del Error.	108
Anexo B.4 Pruebas de Normalidad	111
Anexo B.5 Causalidad de Granger	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores propios y varianza acumulada.	48
Tabla 2: Contribuciones de las variables.....	51
Tabla 3: Calidad explicativa de variables.....	52
Tabla 4: Prueba de estacionariedad	54
Tabla 5: Prueba de estacionariedad	54
Tabla 6: Prueba de estacionariedad - Primera diferencia	55
Tabla 7: Prueba de estacionariedad - Primera diferencia	55
Tabla 8: Coeficientes de ecuación - Modelo 1	56
Tabla 9: Coeficientes de ecuación - Modelo 2	58
Tabla 10: Coeficientes de ecuación - Modelo 3	59
Tabla 11: Prueba de Autocorrelación.....	66
Tabla 12: Prueba de Normalidad.....	66
Tabla 13: Prueba de Heterocedasticidad	67

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Círculo de correlación BTC	48
Gráfica 2: Círculo de correlación ETH	49
Gráfica 3: Círculo de correlación LTC.....	49
Gráfica 4: Círculo de correlación XRM	50
Gráfica 5: Impulso respuesta de BTC respecto al índice DJ	69
Gráfica 6: Impulso respuesta de CP respecto al precio de BTC	69
Gráfica 7: Impulso respuesta de precio de BTC respecto a VIX	70
Gráfica 8: Impulso respuesta de precio de BTC respecto a Red	70
Gráfica 9: Impulso respuesta de Red respecto a precio de BTC	71
Gráfica 10: Impulso respuesta de Volumen respecto al precio de BTC.....	71
Gráfica 11: Impulso respuesta de precio de ETH respecto al precio de BTC	72
Gráfica 12: Impulso respuesta de CP respecto a precio de ETH.....	73
Gráfica 13: Impulso respuesta de precio de LTC respecto al precio de BTC	73
Gráfica 14: Impulso respuesta de precio de XRM respecto al precio de BTC	74
Gráfica 15: Impulso respuesta de CP respecto a precio de XRM	74

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y SOCIALES
ESCUELA DE ECONOMÍA

COMPORTAMIENTO DE LOS PRECIOS DE CRIPTOACTIVOS Y SU RELACIÓN CON VARIABLES FINANCIERAS Y TECNOLÓGICAS

Autores:

Marval Saavedra, María Angélica
Rodríguez Muñoz, Andrea Carolina

Tutor: Dr. José Contreras

Caracas, junio de 2020

RESUMEN

La presente investigación abarca el estudio del comportamiento del precio de cuatro criptoactivos: Bitcoin, Ethereum, Litecoin y Monero, estos son seleccionados debido a su porcentaje de capitalización de mercado y ya que cuentan con la cantidad de datos suficientes para el estudio. Para dicho análisis se utilizan datos relacionados al Blockchain (tecnología) de los criptoactivos: poder de cómputo y red, y también datos relacionados a mercados financieros: índice Dow Jones, índice Dow Jones *Commodities*, volumen del criptoactivo, precio del petróleo West Texas Intermediate, precio del oro e índice de volatilidad VIX. Las herramientas econométricas empleadas son un modelo de Análisis de Componentes Principales que permite realizar una selección de variables relacionadas al precio de los criptoactivos, una prueba de cointegración que permite analizar las relaciones entre las variables y el precio en el corto y largo plazo, y un modelo de vectores autorregresivos que permite realizar proyecciones del impacto que pueden tener las variables sobre el precio en el tiempo

Palabras clave: *criptoactivos, precio de criptoactivos, blockchain, poder de cómputo, red, Dow Jones, commodities, Bitcoin, Ethereum, Monero, Litecoin, VIX, WTI, Oro.*

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia los métodos que se han utilizado para el intercambio y pago de los bienes y servicios, así como para el resguardo del capital propio, se han basado en un elemento fundamental: la confianza. En la actualidad, los criptoactivos constituyen un área cuyo interés pecuniario, tecnológico y de inversión se ha ido incrementando a pasos agigantados, pero aún en esas condiciones existe una gran inquietud por comprender sus teorías, fundamentos y funcionamiento.

Los criptoactivos y su tecnología Blockchain son una innovación que tiene el potencial de integrarse a diversos campos que trascienden el sector económico, por lo que se espera que el impacto de los sistemas descentralizados en la vida cotidiana aumente significativamente en los próximos años. En la actualidad, se vive en un mundo digital donde la clave es adaptarse a los cambios y, una herramienta para este proceso de ajuste es la comprensión de estas nuevas formas de intercambio y su tecnología descentralizada. El presente trabajo busca aportar un mayor entendimiento de los criptoactivos mediante la identificación de variables que tengan alguna influencia sobre el precio de los mismos.

En enero de 2009 el bloque génesis de la cadena de bloques de Bitcoin es minado y oficialmente se crea la primera cadena de bloques pública, descentralizada y resistente a censuras. Desde esta innovación ha existido un crecimiento exponencial de criptoactivos en el mercado, el diseño de algunos busca imitar y mejorar lo propuesto en el protocolo de Bitcoin, mientras que otros criptoactivos y sus cadenas de bloque buscan innovar en diversos sectores; algunos han tenido éxito captando usuarios, otras son consideradas inservibles o incluso estafas. A pesar de este último caso, la popularidad de los criptoactivos ha aumentado y calado en el público general que cuenta con una noción de lo que son y de su propósito.

A la fecha existen 5624 criptoactivos y juntos poseen una capitalización de mercado de 262.876.334.584 USD (CoinMarketCap, 2020). Se trata de un libre mercado con mucha volatilidad

y sujeto a altos niveles de especulación; a pesar de ello parece que los criptoactivos más importantes se están solidificando en el tiempo y mientras más trabajos de investigación e información se generen sobre estos, se disipará parte de la incertidumbre que los rodea y podría promover a que un número mayor de usuarios los adopten.

Este trabajo tiene como finalidad precisar si existe o no una relación entre el precio de cuatro criptoactivos minables: Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Litecoin (LTC) y Monero (XMR), y las variables: poder de cómputo, red, volumen, índice Dow Jones, índice Dow Jones *Commodities*, precio del petróleo West Texas Intermediate, precio del oro e índice de volatilidad VIX. Se diferencia de trabajos anteriores ya que estudia tanto variables macro-financieras, como también variables propias de la tecnología de los criptoactivos, como lo son la red y el poder de cómputo.

Es de interés estudiar el impacto de las variables tecnológicas por la forma en la que Blockchain se ha transformado en el tiempo, pasa de ser solo un medio para realizar pagos electrónicos descentralizados a, en la actualidad, facilitar cualquier forma de servicio digital. A pesar de esto presenta un problema que se conoce como el *trilema de la escalabilidad*, el cual implica que solo se pueden tener dos de tres propiedades importantes de Blockchain: descentralización, escalabilidad o seguridad. Debido al trilema es complejo que solo una cadena de bloques domine la totalidad del mercado (al menos por ahora), esto proporciona mayor valor al estudio de las cadenas existentes y su posible influencia sobre el precio de los criptoactivos.

El contexto mundial en el que aparece Bitcoin es un año después de una crisis financiera que afectó la confianza del público en el sistema financiero global, durante la existencia de este criptoactivo también destacan la crisis de deuda soberana de Europa y la crisis bancaria de Chipre, ante estas situaciones Bitcoin pudo percibirse como una alternativa a las monedas de las naciones afectadas, una manera de que esos ciudadanos salvaguardaran sus ahorros.

Es por lo anterior que se considera pertinente para el objetivo de este trabajo agregar algunas variables financieras, puesto que en la actualidad no existe consenso sobre la correlación que pueden tener los criptoactivos con el mercado financiero y sus diversas opciones de inversión. Algunos académicos indican que esta correlación es baja por lo que los criptoactivos representan

una oportunidad para diversificar portafolios, mientras que otros afirman una integración parcial de Bitcoin al mercado financiero global.

De manera controversial Bitcoin ha sido llamado “oro digital”, por la manera en la que algunos usuarios prefieren poseerlo antes que a su moneda local (una característica que era asociada al oro). De nuevo, no hay consenso sobre la relación entre criptoactivos y oro, ni sobre el mercado de Commodities agregado, por lo que es interesante incluir estas variables al estudio de comportamiento de precios.

El trabajo de grado está estructurado en cinco capítulos: En el capítulo I se realiza el planteamiento del problema y se delimitan los objetivos de la investigación. En el capítulo II, marco teórico, se cuenta con una revisión de otros trabajos que explican tanto conceptos básicos relacionados a este estudio como también trabajos que desarrollan un análisis del comportamiento de los precios, usando diferentes métodos y diversas variables.

En el capítulo III se establece la metodología a utilizar para alcanzar los objetivos propuestos, se especifica el tipo y diseño de investigación a realizar y se hace un énfasis especial en explicar las técnicas de procesamiento y análisis de datos. El capítulo IV contiene las herramientas econométricas que permiten evaluar nuestra hipótesis, se utilizan dos modelos: el de análisis de componentes principales y un modelo de vector autorregresivo, estos son aplicados a cada uno de los criptoactivos. Por último, el capítulo V presenta las conclusiones del estudio y recomendaciones para futuros trabajos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Esta última década ha sido testigo de una gran transformación digital que ha modificado la forma en la que intercambiamos y usamos la información, que se ha hecho sentir con especial relevancia en el área de servicios financieros, gracias a la tecnología existente y a nuevas capacidades del poder de cómputo.

Al frente de esta revolución digital se encuentran los criptoactivos. A pesar de que el impacto que estos tienen aún no es significativo en una escala global (BBVA Research, 2018), los agentes económicos que utilizan criptoactivos son cada vez más, como se refleja en las variaciones porcentuales del volumen de intercambios realizados entre febrero 2015 y febrero 2020, periodo en el cual las transacciones con criptoactivos crecieron un 788.152%. (CoinMarketCap, 2020)

Para la macroeconomía estadística, los criptoactivos como el Bitcoin y similares no cumplen con el criterio para ser denominados activos financieros, esto ha impedido llegar a una conclusión aceptada por el colectivo sobre su clasificación. Sin embargo, los criptoactivos combinan propiedades tanto de monedas como de commodities y de activos intangibles. (Dinenzon, M; Josyula, V; Moreno, J; Dippelsman, R; Razin, T, 2018, pág. 3)

Estos son una representación de valor, su existencia es posible gracias a los avances en criptografía y en la tecnología Blockchain, que permiten generar libros mayores distribuidos y de esa manera, crear registros sin la necesidad de un ente central que administre el sistema. (Dinenzon, M; Josyula, V; Moreno, J; Dippelsman, R; Razin, T, 2018, pág. 5)

El porcentaje de transacciones realizadas por estos medios presenta una tendencia creciente desde 2009 (CoinMarketCap, 2020) y su existencia constituye una forma de pago que tiene el potencial de ser menos costosa, más rápida y trazable que el uso de métodos de pago tradicionales, en la medida que aumenten sus niveles de adopción.

En las teorías tradicionales de finanzas se explica cómo factores fundamentales pueden determinar los precios de firmas que cotizan en la bolsa, un problema para estas teorías era la complejidad de identificar factores que tuvieran un nivel de importancia similar en las empresas estudiadas, debido a las diferencias de sus productos ofertados y métodos de producción. En cambio, los criptoactivos que forman parte de este estudio comparten elementos esenciales por el hecho de utilizar la misma tecnología de minado.

Para efectos de este trabajo nos enfocaremos en criptoactivos minables, los cuales han aumentado su presencia en el mercado digital en los últimos años, aunque la finalidad principal del usuario no sea la de método de pago sino la de adquirir activos para generar rendimientos futuros, dicha finalidad puede transformarse en el tiempo conforme aumenten los niveles de confianza y aceptación de los criptoactivos.

La historia demuestra que los sistemas financieros cambian y evolucionan, por más consolidados que parezcan. En estos sistemas siempre existen oportunidades de optimización para que se ajusten a las necesidades de un mundo más globalizado y con mayor tecnología, trayendo como consecuencia cambios que pueden surgir por nuevos sistemas económicos o por desconfianza en el sistema tradicional.

Con la llegada de Bitcoin se abren las puertas a una forma de pago que no necesita de un ente central para funcionar y que no conoce barreras entre países, sirviendo además como forma de salvaguardar capital ante situaciones de inflación. Respecto a los criptoactivos, podemos estar ante un elemento significativo del sistema financiero del futuro, de allí la relevancia de su estudio y entendimiento.

1.2 Delimitación del problema

La investigación busca comprobar si es posible determinar variables que afecten al precio de cuatro criptoactivos minables con al menos 5 años de trayectoria en el mercado, siendo estos: Bitcoin, Ethereum, Monero y Litecoin. Para ello, estudiaremos el comportamiento de sus precios diarios desde el año 2015 hasta el mes de marzo de 2020.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Establecer el comportamiento de los precios de cuatro criptoactivos minables: Bitcoin, Ethereum, Litecoin y Monero, y su relación con variables financieras y tecnológicas.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Analizar diversas variables que podrían influir sobre el comportamiento de los precios de los criptoactivos estudiados.
2. Seleccionar las variables cuyo comportamiento sea relevante respecto a las variaciones de precio de cada criptoactivo, a partir de la exploración anterior.
3. Determinar si las variables seleccionadas son factores que influyen a corto y largo plazo en la valoración de los criptoactivos.

1.4 Hipótesis

El comportamiento de los precios de los criptoactivos minados estudiados responderán a variables relacionadas con su tecnología Blockchain (poder de cómputo y red) así como a variables de los mercados financieros (índice Dow Jones, índice Dow Jones Commodities, índice VIX, precio del oro, precio de petróleo WTI, retornos del Bitcoin y volumen del criptoactivo).

1.5 Justificación de la investigación

Previamente se han estudiado a profundidad cómo los factores *momentum*, sentimiento de inversores e ineficiencia de mercado, afectan al precio de los criptoactivos. Sin embargo, por ser tan recientes no hay suficientes investigaciones que estudien la influencia de variables tanto tecnológicas como financieras sobre el comportamiento en el precio de los mismos.

Las autoridades monetarias de diferentes países han demostrado interés por estudiar y entender los criptoactivos, lo que se evidencia en las investigaciones realizadas por: Fondo Monetario

Internacional y Banco Mundial, Inglaterra, Reserva Federal de Estados Unidos, Japón, Filipinas, Alemania, India, Indonesia, Finlandia, Dinamarca, Pakistán y más de 40 Bancos Centrales.

Aunque el mercado de criptoactivos no es significativo desde el punto de vista macroeconómico, es muy dinámico y presenta tendencias crecientes tanto en sus volúmenes transados como en la capitalización del mercado. Entre el 22 de febrero de 2015 y el 22 de febrero de 2020, el volumen de transacciones realizadas por día ha aumentado un 788.152%; mientras que la capitalización de mercado en ese mismo periodo ha aumentado un 7046% (CoinMarketCap, 2020).

Los criptoactivos representan un nuevo ecosistema financiero en potencia que se percibe como complejo y diferente a los sistemas tradicionales, pero en esa complejidad existen oportunidades beneficiosas para aquellos agentes económicos que busquen entender cómo funciona y qué factores influyen sobre él.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Este capítulo presenta como antecedentes trabajos de otros investigadores que ayudan a entender qué se denomina como criptoactivos, además, recoge investigaciones enfocadas en el desarrollo de modelos de valorización de criptoactivos (en varios casos solo de Bitcoin). El aporte de estos antecedentes será útil para determinar las variables a emplear en el trabajo de grado. Además, esta sección presenta bases teóricas que se espera le permitan al lector ponerse en contexto con el tema a ser estudiado.

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Bitcoin: Un Sistema de Efectivo Electrónico Peer-to-Peer. (Satoshi Nakamoto, 2008)

Este informe representa la revelación de un nuevo sistema de dinero electrónico basado en la criptografía en lugar de la confianza, que permite realizar transacciones de manera directa entre las partes sin la intervención de una institución financiera. Representa una solución al problema del doble gasto usando una red *peer-to-peer*, la cual sella las transacciones en el tiempo en una cadena continua de *prueba de trabajo* basado en hash.

Comienza con la perspectiva de monedas creadas a partir de firmas digitales que permite el control de la propiedad y, resuelve el problema del doble gasto de una moneda al usar la prueba de trabajo que realiza el registro público de las transacciones realizadas, las cuales son computacionalmente inviables de modificar por un atacante aislado.

Este trabajo representa la piedra angular de los criptoactivos, siendo Bitcoin una innovación en la economía mundial con éxito creciente por su vendibilidad en el tiempo, en escalas y en el espacio. Desde la publicación de que lo fue el primer criptoactivo de la historia, se inició un mercado que capitaliza más de 200 mil millones de dólares en la actualidad. (Leal, 2019)

2.1.2 ¿Los fundamentos impulsan los precios de las criptomonedas? (Bhambhwani, Delikouras, & Korniotis, 2019)

En esta investigación, los autores proponen la hipótesis de que el precio de las criptomonedas está influenciado por su **poder de cómputo** y los niveles de adopción de su **red**. Plantean la existencia de una relación a largo plazo entre estas dos variables y los precios de las criptomonedas Bitcoin, Ethereum, Monero, Litecoin y Dash, afirmando que estas tienen un valor intrínseco y que es posible proyectar a largo plazo sus precios.

Sin embargo, exponen que durante algunos periodos de tiempo el precio de estos se puede desviar de lo proyectado por los factores fundamentales (poder de cómputo y red), debido al sentimiento del inversor, estudiado en la economía conductual y que miden usando la variable retorno de Bitcoin, siendo este criptoactivo el más popular y con mayor capitalización en el mercado. Concluyen que la exposición a estos factores fundamentales es más fuerte que el efecto que pueden tener factores momentáneos.

Primero realizan una prueba de correlación entre las variables poder de cómputo, red y los retornos de criptoactivos, obteniendo como resultado que “todos los coeficientes entre retornos de criptomonedas y tasa de crecimiento de los factores fundamentales son positivos y estadísticamente significativos”. Destacan que la correlación entre el retorno de Bitcoin y su poder de cómputo es más pequeña que la de los otros criptoactivos, atribuyen este resultado a que Bitcoin es más susceptible al *trading* especulativo.

Proceden a utilizar el Método Dinámico de Mínimos Cuadrados (Dynamic Least Squares Method) para evaluar el efecto a largo plazo de sus variables explicativas sobre los precios de los criptoactivos. Concluyen que existe una fuerte relación entre factores fundamentales y precios, los coeficientes para poder de cómputo y red resultan significativos en más del 50% de las regresiones realizadas.

En el caso de Bitcoin los coeficientes de ambas variables fueron estadísticamente significativos, el criptoactivo Ethereum solo presenta significancia en su red, Monero y Dash

presentan estimaciones estadísticamente significativas y positivas para poder de cómputo y red, por último, Litecoin solo estima un coeficiente es positivo y estadísticamente significativo para su red.

2.1.3 Tratamiento de los Criptoactivos en la Estadística Macroeconómica. (Fondo Monetario Internacional, 2018)

El presente artículo parte de la existencia de una revolución digital caracterizada por **servicios financieros** respaldados por los avances tecnológicos y el **poder de cómputo**. De esta innovación digital se destaca el advenimiento de criptoactivos como el Bitcoin, diseñado para ser utilizado como método de intercambio, y otros criptoactivos conocidos como “tokens digitales” utilizados para la recaudación de dinero por las empresas de nueva creación.

Así como clasifican las monedas digitales emitidas por bancos centrales como activos financieros, dada la existencia de un ente que responde por ellas, explican que los criptoactivos no pueden considerarse activos financieros mientras no exista un ente deudor que asuma la responsabilidad del *cripto*, según este criterio. Por el contrario, se estima que los criptoactivos combinan propiedades de monedas, productos básicos y activos intangibles, y responden a la clasificación de **activos económicos** porque sus poseedores pueden obtener beneficios económicos con su tenencia.

El estudio concluye que la rápida evolución y desarrollo que experimentan los criptoactivos está apenas en su etapa inicial. Así como muchas de las conocidas *criptomonedas* ahora se clasifican como *criptoactivos* dada sus características, es difícil predecir como estos activos y tecnologías subyacentes cambiarán en los próximos años, por lo que resulta necesario revisar si las clasificaciones actuales se ajustan en el futuro.

2.1.4 ¿Qué se puede esperar del Bitcoin? (van Wijk, 2013)

Esta investigación estudia la forma en la que **data financiera** (como representación de las expectativas sobre el desempeño de la economía) puede **influir sobre el valor del Bitcoin**. Para

este fin utiliza **ocho variables**: tipo de cambio de Bitcoin a dólares estadounidenses, una serie de tiempo del valor de cierre del índice Dow Jones, el valor de cierre del índice FTSE 100, el valor de cierre del índice Nikkei 225, tipo de cambio de dólares estadounidenses a euros y a yen, el precio del petróleo Brent, el precio del petróleo de West Texas Intermediate (WTI) y Constant Maturity Index del petróleo.

Evalúa los datos con el método de mínimos cuadrados ordinarios, maneja el valor del Bitcoin como la variable dependiente y como variables independientes las ocho ya mencionadas. Según el análisis de van Wijk, la variable independiente que tiene un efecto positivo y significativo sobre el valor del Bitcoin es el **índice de Dow Jones**. El resto de las variables arrojan valores insignificantes.

También utiliza un modelo de corrección de error y concluye que a largo plazo las **variables significativas para la valoración de este criptoactivo son: el valor del Dow Jones, el tipo de cambio euro-dólar y el precio del petróleo de WTI**. Dow Jones tiene un efecto positivo sobre Bitcoin, mientras que el tipo de cambio y el precio del petróleo influyen de manera negativa al valor de Bitcoin a largo plazo.

2.1.5 Valoración de equilibrio de Bitcoin y activos de red descentralizados. (Buraschi & Pagnotta, 2018)

El estudio se centra en la manera en la que se valora Bitcoin, criptoactivo que existe en una red financiera descentralizada en la cual los mismos activos transados son los que se otorgan como recompensas a los mineros que realizan la prueba de trabajo. Por lo anterior, los autores afirman que la producción y el precio son determinados de manera conjunta.

Desarrollan un modelo de equilibrio para el precio de Bitcoin, tomando como el lado de la demanda al número de usuarios (que reflejan la fuerza de la red ante externalidades) y toman como el lado de la oferta a los mineros que proporcionan los recursos computacionales.

Los autores afirman que, al evaluar el lado de la demanda, el **precio de Bitcoin aumenta cuando aumentan: el número de participantes en su red**, el tamaño promedio esperado de su red futura y el valor promedio agregado de la aversión a la censura.

Aseguran que un incremento en el tamaño esperado implica ampliaciones en la utilidad marginal esperada de poseer Bitcoins, por lo tanto, aumenta la demanda actual de los mismos al igual que su precio. Por el lado de la oferta el precio de BTC aumentará con el crecimiento del número de mineros y disminuirá con el costo marginal de minar.

2.1.6 Prueba de las relaciones asimétricas no—lineales a corto y largo plazo entre Bitcoin, commodities agregados y precios del oro. (Bouri, Gupta, Lahiani, & Shahbaz, 2018)

Este trabajo examina de forma no-lineal, asimétrica y cuantil los **efectos que tienen el índice de commodities agregados y los precios del oro sobre el precio del Bitcoin**. Realizan el estudio en el periodo 2010-2017 y para ello usan el modelo autorregresivo avanzado de retraso distribuido (*advanced autoregressive distributed lag (ADRL)*).

Utilizan el ARDL no lineal para descubrir asimetrías a corto y largo plazo y usan el ARDL cuantil para tener en cuenta un segundo tipo de asimetría. Para efectos de ese trabajo toman como variable dependiente el precio del Bitcoin y como principales variables independientes las mencionadas anteriormente, también incluyen en la investigación data de los **precios de acciones, bonos y divisas**.

En sus resultados afirman que existe la posibilidad de realizar proyecciones del precio de Bitcoin basados en la información proporcionada por el **índice de commodity agregado y por los precios del oro**. Indican además que, aunque la relación es significativa no siempre es simétrica. Afirman que el mercado del Bitcoin no está aislado, más bien es afectado por desarrollos **macro-financieros** e invitan a que futuros investigadores no se limiten a estudiar solo factores relacionados a los criptoactivos, sino que consideren series de tiempo financieras en sus trabajos.

Se realiza la prueba Wald para evaluar las asimetrías en el largo y corto plazo. Los resultados para el **modelo que usa commodities** como variable explicativa son los siguientes: en el **largo plazo** el índice MSCI World presenta una influencia simétrica y significativa sobre los precios de Bitcoin, USD tiene una influencia simétrica y negativa sobre el precio, bonos y commodities no presenta una influencia significativa a largo plazo. En el **corto plazo**, las variaciones pasadas del precio de BTC determinan de manera significativa y positiva sus variaciones presentes, además de esto, la única variable significativa y positiva en el corto plazo son los precios de bonos.

Para el **modelo que utiliza el precio del oro** como la principal variable explicativa se obtienen los siguientes resultados: en el largo plazo MSCI tiene un efecto significativo y asimétrico sobre el precio de BTC, es decir, variaciones en esta variable causan caídas en el precio de Bitcoin, en cambio cambios en USD implicarán aumentos en el precio BTC, según este modelo. En el corto plazo las variaciones pasadas del precio de Bitcoin tienen un efecto positivo sobre las variaciones presentes, mientras que las variaciones del oro presentan un impacto negativo sobre las variaciones presentes del precio de BTC

2.1.7 Criptoactivos: conductores de valor y precio de una nueva clase de activos. (Korhonen, 2019)

Esta investigación se centra en la identificación del **valor e impulsores que afectan el precio de mercado de criptoactivos** basados en cadenas de bloques. Además, desarrolla una perspectiva de fondo sobre la tecnología blockchain y los criptoactivos con la finalidad de dar una razón clara del porqué deben considerarse estos como una clase de activos *per se*.

En consecuencia, se basa en dos comparaciones esenciales: en primer lugar, las variables de la cadena de bloques subyacentes con el desarrollo de precios de la criptomoneda en cuestión y, en segundo lugar, los datos de mercado y tendencias con los precios de los criptoactivos. Realiza dos tipos de análisis: de correlación y de regresión múltiple, para el precio y variables de cada activo, con datos históricos que consideran las etapas alcista y bajista del mercado.

El estudio sugiere que el **comportamiento de Bitcoin**, al ser el criptoactivo más fuerte, **afecta al mercado general** más de lo esperado, así cuando este se encuentra en alza aumentan los precios de los criptoactivos y tiene la misma influencia durante las etapas bajas del mercado. Esta situación puede darse hasta que los otros criptoactivos crezcan lo suficiente como para garantizar mejores modelos de precios y valoraciones.

Concluye que, a pesar de tratarse de un mercado emergente donde es difícil establecer verdades absolutas, estudiar las métricas de las cadenas de bloques subyacentes de los criptoactivos y los datos del mercado brinda a los inversores, existentes y potenciales, datos valiosos en los que basar sus decisiones de inversión.

2.2 Bases Teóricas

El marco teórico es aquel que “Brinda a la investigación un sistema coordinado y coherente de conceptos y proposiciones que permiten abordar el problema dentro de un ámbito dónde éste cobre sentido” (Bavaresco, 2006).

2.2.1 Glosario de términos

A continuación, se definirán algunos términos que permitirán un mejor entendimiento del tema de estudio:

- **Altcoin:** se refiere a todos los criptoactivos o fichas de blockchain alternativas al Bitcoin. (Academy2, 2020)
- **Criptoactivo:** ficha criptográfica que es emitida y comercializada en una plataforma blockchain. En esta categoría se engloba a las criptomonedas o criptodivisas, los contratos inteligentes y tokens. (Glosario Alicante, 2018)
- **Criptografía:** conjunto de técnicas y métodos matemáticos que protegen la información de los datos registrados en la blockchain, dotándolos de seguridad y garantizando su inmutabilidad. (Paredes, 2018)

- Hash: algoritmo matemático que transforma cualquier bloque arbitrario de datos en una nueva serie de caracteres con una longitud fija. Sin importar la longitud de los datos de entrada, el valor hash de salida siempre tendrá la misma longitud. (Donohue, 2014)
- Minería: es un proceso en el que las transacciones entre usuarios se verifican y se agregan al libro público de blockchain, además se utiliza para introducir nuevas monedas en el suministro circulante existente. (Binance academy, 2017)
- Prueba de trabajo: algoritmo de consenso original en una red de Blockchain. Es usado para confirmar transacciones y producir nuevos bloques en la cadena. (Tar, 2019)
- Token: unidad de valor que una organización crea para gobernar su modelo de negocio y dar más poder a sus usuarios para interactuar con sus productos, al tiempo que facilita la distribución y reparto de beneficios entre todos sus accionistas. (Mougayar, 2017)

2.2.2 Economía digital

La economía se ha transformado en el tiempo con pagos electrónicos, criptomonedas, diversidad de bienes y servicios disponibles en plataformas digitales, entre otros. Todo ello, forma parte de lo que se conoce como *economía digital*.

Este término fue dado a conocer por el autor Don Tapscott, gracias a su libro “*La Economía Digital: Promesa y peligro en la Era de la Inteligencia en redes*” de 1996, donde explica a grandes rasgos como el internet transforma el modo de realizar transacciones, entendiendo que la economía digital, a través de redes y plataforma global facilita el intercambio de información, así como de bienes y servicios.

En ese sentido, explica Shcwab que la economía global ha dado un gran salto por el uso intensivo de la tecnología, resultando en cambios trascendentales como el *e-commerce*, el bitcoin, el blockchain, el big data, Internet de las cosas

(IoT) y las e-wallets, “donde el comercio y los servicios, así como también la actividad financiera, están mutando al fintech o financial technology, de la mano del blockchain.” (2016, pág. 16)

Sin duda, existe una relación directa entre lo que conocemos como economía digital y la cuarta revolución industrial que ha implicado una serie de cambios en la visión general de las empresas tradicionales, así como en su administración, lo que genera una “transformación digital empresarial”. (Rogers, 2016)

2.2.3 Tecnología Blockchain

Blockchain o cadena de bloques es en esencia una base de datos distribuida, también entendida como un libro mayor público que lleva récord de todas las transacciones o eventos digitales que han sido realizados por las partes involucradas. Cada transacción realizada en esta tecnología es verificada por el consenso de la mayoría de los participantes del sistema.

Una vez que un bloque con información es insertado a la cadena, nunca puede ser eliminado, por lo que la cadena muestra información confiable y verificable de cada transacción realizada. La tecnología Blockchain puede ser aplicada a sectores financieros y no-financieros.

La tecnología posee cinco principios básicos:

- **Descentralización:** su base de datos está distribuida, cada usuario de la cadena de bloques tiene acceso a la totalidad de la información que la compone. No se necesita de un intermediario para verificar los récords de transacciones.
- **Transmisión *peer-to-peer*:** no hay un nodo central que facilite la comunicación entre usuarios, esta se hace de forma directa.
- **Transparencia:** se logra a través de pseudónimos, los usuarios pueden decidir permanecer anónimos o proveer prueba de su identidad a los demás, blockchain otorga a cada usuario una dirección alfanumérica que contiene 30 o más caracteres, protegiendo así su identidad.

- **Récords no reversibles:** Una vez se registra la transacción, la base de datos no puede ser modificada ya que ahora la información está unida a cada transacción que se hizo en el pasado (de ahí el nombre de *cadena*).
- **Lógica computacional:** Los usuarios pueden establecer algoritmos y reglas que automáticamente se traducen en transacciones entre nodos.

2.2.4 Criptoactivos:

Los criptoactivos son aquellos activos digitales o virtuales que utilizan la criptografía para controlar las transacciones, alterar el suministro y prevenir fraudes. Además "son un tipo de activo privado que depende principalmente de la criptografía y la tecnología de contabilidad distribuida como parte de su valor percibido o inherente" (Justa de Estabilidad Financiera, 2019, pág. 10). Estos, poseen características innovadoras como moneda, sistema de pago o en general, como tecnología.

Los criptoactivos son medios digitales de intercambio que abarca tanto criptomonedas como *tokens*, y utilizan la criptografía para asegurar transacciones. Este sistema generalmente consiste en una **red de igual a igual (peer-to-peer)** un mecanismo de consenso y una infraestructura de clave pública. En ausencia de una autoridad central, las reglas que rigen el sistema son aplicadas por todos los participantes de la red, también conocidos como **nodos**.

El Fondo Monetario Internacional (FMI) describió los criptoactivos como “**representaciones digitales de valor**” mientras la Comisión de Bolsa y Valores SEC, ente regulador de los Estados Unidos, declaró que pasaban a convertirse en '*activos financieros regulados*', razón por la cual algunos sitios especializados comenzaron a migrar del término *criptomonedas* a *criptoactivo*.

La confianza en un sistema criptoactivo consta de tres elementos: la seguridad de la cadena de bloques, la salud o estabilidad del ecosistema de minería y el valor del criptoactivo. (Chiu & Koepl, 2017, pág. 10)

Uno de los principales atractivos de los criptoactivos versa sobre el hecho de que las transacciones son validadas por los nodos de la red y, el suministro de la mayoría de los criptoactivos aumenta a una velocidad predeterminada y ninguna autoridad central puede cambiarlo. (Gandal & Halaburda, 2016, pág. 7)

2.2.5 Poder de cómputo

El poder de cómputo es aquel que usan los mineros para resolver los algoritmos que crea la blockchain de una criptomoneda. Para minar con éxito, se necesitan altos rangos de *hash*, que son medidos en términos de megahashes por segundo (MH/s), gigahashes por segundo (GH/s) y terahashes por segundo (TH/s). Altos niveles de este factor permiten **mayor eficiencia en el flujo de las transacciones** y una cadena de bloques más segura ante ataques. Buraschi y Pagnotta (2018) estudian cómo los recursos computacionales que aportan los mineros pueden mejorar los **niveles de confianza** que otorgan los usuarios a la cadena de bloques.

Cuando hay niveles altos de poder de cómputo las transacciones fluyen de manera más eficiente y proporciona mayor seguridad a la cadena de bloques ante posibles ataques; esto se explica ya que el sistema busca mantener la producción de bloques a un ritmo estable y cuando se unen más mineros y aumenta el poder de cómputo entonces **el mismo sistema dificulta el nivel para minar**. Dadas estas condiciones, más usuarios serán atraídos a adoptar el uso de las criptomonedas correspondientes a esa tecnología. Para ilustrar lo anterior “cuando Bitcoin fue lanzada en 2009 el nivel inicial de dificultad era 1, para noviembre 2019, el nivel es mayor a 13 trillones” (Hong, 2020).

Por el lado de la oferta, los mineros, que proveen los recursos computacionales que afectan la confianza que se tiene en la red, es decir mejoran las propiedades de valor relacionadas a la ausencia de fraudes y mayor resistencia a la censura o posibles ataques. (Buraschi & Pagnotta, 2018, pág. 1).

Relación precio y poder de cómputo: como se expresó en párrafos anteriores, mayor confianza genera mayor atracción de usuarios del criptoactivo, cuando la demanda por un producto (en este caso el criptoactivo) aumenta, por análisis fundamental de oferta y demanda su precio también aumentará. En los hallazgos de Bhambhwani, Delikouras, Korniotis concluyen que existen

periodos “buenos” en los cuales hay “un alto poder de cómputo agregado y de network, en este periodo los precios son típicamente altos y el inversor promedio es adinerado” (2019, pág. 5)

2.2.6 Network

Esta variable representa los niveles de adopción de la criptomoneda, es calculada con el número único de direcciones activas que transan en la Blockchain de cada criptoactivo. Mientras más usuarios tengan, más atraerán a terceros entes económicos que creen aplicaciones e interfaces, mejorando así la experiencia de usar esa cadena de bloques, resultando en otro aumento el tamaño del network.

Network puede considerarse por el lado de la demanda para este estudio. Según lo concluido por Buraschi y Pagnotta “los consumidores valoran el consumo de servicios en una red descentralizada *peer-to-peer* (P2P)” (2018, pág. 8).

Relación precio y network: al existir terceros entes económicos que mejoren la experiencia usuaria del criptoactivo correspondiente, más personas se verán atraídas a usar la crypto y, un aumento nivel de adopción implica mayor facilidad y menos tiempo a la hora de realizar una transacción, incrementándose la demanda por el criptoactivo y, como en el caso de la variable “poder de cómputo”, se espera una correlación positiva entre precio y network.

2.2.7 Dow Jones y criptoactivos

El índice bursátil Dow Jones es una estadística que recoge a las 30 empresas con mayor capitalización bursátil de la Bolsa de valores de Nueva York (NYSE). Su cálculo consiste en la suma de los precios de las acciones de todas las empresas, para posteriormente dividir el total entre un divisor variable modificable de manera periódica. (Montes de Oca, s.f.) Su valor está en dólares estadounidenses, ponderado por el precio y se observa de manera constante como un indicador financiero del estado de la economía

Relación precio y Dow Jones: aunque muchos expertos dudan de una correlación entre las acciones y el precio de los criptoactivos, diversos estudios afirman que la influencia del índice Dow Jones sobre el precio de Bitcoin es significativa e incluso, dicho impacto parece aumentar en momentos de crisis donde el sentimiento de inversor tiene gran importancia.

Al respecto, el estudio de van Wijk concluye que el valor de Dow Jones tiene un efecto significativo a largo y corto plazo sobre el precio de Bitcoin, por lo que estima que el rendimiento y crecimiento de la economía estadounidense deben observarse de cerca a la hora de invertir en Bitcoin. (van Wijk, 2013, pág. 16)

2.2.8 Commodities y su relación con los criptoactivos

Se conoce como *commodities* a aquellos productos destinados a un uso comercial, que se caracterizan por no tener ningún valor agregado, es decir, se encuentran sin procesar o no poseen características diferenciadoras con respecto a otros productos del mercado. Normalmente se utilizan como materia prima para la elaboración de otros bienes.

En Estados Unidos se ha desarrollado una definición legal de commodity que abarca todo lo que sea subyacente en un contrato de futuros de una bolsa de productos previamente establecida (Caballero, 2012). Además, extiende el concepto a tal punto que permite la inclusión de cualquier producto que se entienda como *bien de consumo*, comprendiendo una gran cantidad de activos financieros con la condición de que no se les tome como valores.

Relación commodities y criptoactivos: el presente trabajo establece como variables los siguientes commodities: el precio de oro, el precio del petróleo WTI y el índice Dow Jones *Commodities*. Esto, con razón de la importancia demostrada que tienen los commodities en la economía mundial y su crecimiento. Al respecto, estudios afirman la existencia de una relación negativa entre el precio de Bitcoin y el precio de dos commodities, oro y petróleo (Sánchez Méndez, 2018, pág. 21). En concordancia con lo establecido, van Wijk concluye que el precio del petróleo WTI influyen de manera negativa al valor de Bitcoin a largo plazo.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En esta sección, se explicará la metodología propuesta para el desarrollo del estudio de la relación entre factores considerados fundamentales y el precio de los cuatro principales criptoactivos minables. Para ello, se especificará el tipo y diseño de investigación a realizar. Con la escogencia de la estrategia correcta de investigación y de datos representativos acertados, se pueden asegurar resultados y capacidad de realizar proyecciones apegadas a la realidad.

3.1 Tipo de Investigación

Hernández, Fernández y Baptista (1997) adoptan la siguiente clasificación para los tipos de investigación: exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa. Para estos autores la tipología “se refiere al alcance que puede tener una investigación científica”. Dependiendo de la clasificación de tipología utilizada, se determinará una estrategia de investigación a utilizar, la cual afectará al diseño del estudio, la manera en la que se determina la población y como se recolecta la muestra de la misma.

En este trabajo el tipo de investigación será **correlacional**, lo que significa que el estudio a ser realizado tiene como objetivo determinar en qué grado están relacionadas (si es que existe relación) dos o más variables y después profundizar el análisis de esta correlación, para Hernández, Fernández y Baptista (1997) el propósito de este estudio es “intentar predecir el valor aproximado que tendrá un grupo de individuos en una variable, a partir del valor que tienen en la variable o variables relacionadas”.

3.2 Diseño de la Investigación

Es necesario trazar una estrategia para encontrar respuesta al planteamiento del problema previamente establecido, este plan o estrategia es el diseño de la investigación. Para Hernández, Fernández y Baptista (1997) el diseño “señala al investigador lo que debe hacer para alcanzar sus objetivos de estudio, contestar las interrogantes que se ha planteado y analizar la certeza de la(s) hipótesis formuladas en un contexto en particular”. La importancia de establecer el diseño

adecuado para el trabajo yace en que habrá mayor posibilidad de resultados que sean apegados a la realidad.

El diseño de la investigación se podría clasificar como **experimental o no experimental**. Realizaremos un estudio entre las variables para luego describir y analizar dichos resultados, sin que ello implique el experimento con recursos propios que conllevaría a riesgos financieros personales, por lo que se clasificaría a esta investigación como **no experimental**.

Kerlinger (1979) explica que lo que se hace en “la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos”, este estudio se basaría en la información disponible de los precios a lo largo del tiempo de los criptoactivos y su relación con las variables seleccionadas para el estudio, considerando un periodo que empieza en el año 2015 y termina el 16 de marzo de 2020 (esto será especificado en el apartado 3.4); a su vez la investigación se apoyará en trabajos previos sobre el tema que demuestran el comportamiento del precio de las criptomonedas y su relación con diferentes factores.

El tipo de diseño no experimental, se puede sub-clasificar como transeccionales (o transversales) y longitudinales. Para nuestro objeto de estudio se utilizará un diseño transversal, correlacional lo que significa que se describirán las relaciones entre variables. En este tipo de diseño se realizan descripciones, pero no se clasifica como descriptivo porque no se evalúa la naturaleza de una sola variable, sino de múltiples.

3.3 Población y Muestra

La población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones (Selltiz, 1976), mientras que la muestra es definida como parte de la población que cumple con las características que buscan estudiarse y que sean lo más fieles posibles a la realidad. Para nuestra investigación se estudiarán los principales cuatro criptoactivos minables a saber: Bitcoin, Ethereum, Monero y Litecoin. Entendiendo que de los 5.145 criptoactivos existentes, estos cuatro en conjunto representan el 68,05% de la capitalización total del mercado.

3.4 Datos

El set de datos utilizado para este trabajo se construye en torno a la información obtenida del precio de cada criptoactivo, se trabajó con datos diarios, el precio histórico de BTC, ETH, LTC y XMR es obtenido a través de la página coinmetrics.io. Debido a la naturaleza de los criptoactivos, la información relacionada a ellos es de acceso público. Se posee la información relacionada a Bitcoin desde 02/01/2015 hasta 16/03/2020, a Ethereum desde 10/03/2016 hasta 16/03/2020, a Litecoin: desde 24/08/2016 hasta 16/03/2020 y a Monero: desde 30/07/2015 hasta 16/03/2020.

Cabe destacar que los datos volumen, network y poder de cómputo se extraen para cada criptoactivo. Los datos de volumen y network se encontraron en la misma fuente que los precios. La variable poder de cómputo fue calculada con los datos “hashrate” y “block count” de esta misma página, realizando una multiplicación entre los mismos. Mientras que los datos relacionados a los mercados financieros son los mismos para cada modelo, el precio histórico de los índices Dow Jones, Dow Jones Commodities, índice de volatilidad (VIX), del oro y de petróleo West Texas Intermediate (WTI); provienen de la página [Investing.com](https://www.investing.com), las cifras están expresadas en US\$.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación es un proceso que consiste, para Kerlinger, Lee (2005, pág. 13) en la sistematización, control empírico, amoral y crítico de fenómenos sociales. La presente se centrará en el desarrollo de una investigación de recopilación de datos de los precios de los criptoactivos y su comportamiento en el tiempo, con especial énfasis en la relación que tienen estos con los factores a evaluar por este estudio.

Así mismo, los instrumentos de recopilación de información utilizados para registrar las observaciones consistieron en general al **tipo impreso**, propios de instrumentos como fichas, resúmenes, informes y bibliografía, siendo parte de la información y de la data proveniente de páginas de internet. Para el estudio de los datos se emplea el programa econométrico RStudio con el objetivo de procesar los sets de datos de forma rápida y sencilla.

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para Arias (2006): “las técnicas de procesamiento y análisis de datos son un compendio de herramientas y pasos que permiten la conversión de los datos obtenidos del proceso de recolección, en información”. Así mismo, afirma Sampieri (2014) que las técnicas de procesamiento y análisis de datos consisten en la sistematización computarizada de los datos necesarios para la investigación.

El presente trabajo consiste en la recopilación de información documentada, lo que requerirá realizar un filtrado de la misma, entendiendo que son diversos los estudios e informes realizados respecto al tema. Será necesario contrastar con lo experimentado en la realidad, ya que al final los datos oficiales son los que pueden proporcionar una visión más objetiva de los resultados que han generado.

Una vez culminado dicho contraste se deben evaluar todas las características referentes a la validación de las mismas a través de la comparación de resultados y de documentos, que ayudará a determinar que tan bien se ajustan las observaciones a los valores esperados.

En la investigación se evaluarán los objetivos utilizando dos modelos, el primero siendo el de Análisis de Componentes Principales (ACP) y el segundo un modelo de Vectores Autorregresivos (VAR), sin embargo, se estima un modelo de corrección del error (VEC) para aquellos sets de datos que presentan relaciones de cointegración. Para un mejor entendimiento de la información obtenida, se decidió realizar los dos modelos para los sets de datos de cada criptoactivo, en vez de realizar un índice de criptoactivos.

3.6.1 Análisis de Componentes Principales

El Análisis de Componentes Principales (en lo sucesivo, ACP) es una técnica factorial cuyo objetivo es la reducción de la dimensionalidad de un conjunto de datos que parten de un gran conjunto de variables interrelacionadas, mientras se conserva la mayor cantidad de variación presente en los de datos (Jolliffe, 2002). Para ello, se realiza la transformación a un nuevo conjunto de variables que se denominan “Componentes Principales” (en adelante, CP) los cuales no están

correlacionados y se ordenan de tal manera que los primeras retengan la mayor parte de variación presente en las variables originales.

Suponiendo que x es un vector de p variables aleatorias cuyas varianzas y estructura de las covarianzas o correlaciones entre las p variables son de interés, no resultaría útil observar solamente las variaciones p y todas las correlaciones o covarianzas, a menos que p sea pequeño o con una estructura muy simple. Es por ello, que se presenta como alternativa buscar ciertas variables derivadas que conserven la mayor parte de la información contenida en las variaciones y correlaciones o covarianzas.

A través de este método se logran identificar patrones ocultos en los datos originales, reducir la dimensionalidad de los datos eliminando el ruido y la redundancia de los mismos e identificar variables correlacionadas (Kassambara, 2017). Así, hay una reducción de la complejidad al transformar las variables originales en componentes principales que representarán la mayor parte de la variación en las variables originales mientras los últimos componentes identifican direcciones en las que hay poca variación.

Si bien el principal objetivo del ACP es la reducción de la dimensión del espacio de los datos para realizar descripciones sintéticas y simplificar el problema a estudiar, para Peña (2002) tiene una utilidad doble porque además de lo anterior, transforma las variables originales correlacionadas en nuevas variables no correlacionadas, bajo el criterio de máxima variabilidad acumulada, que pueden ser interpretadas.

Este análisis también se emplea con la finalidad de dividir las unidades experimentales en subgrupos según la similitud de los mismos. Así mismo, sirve para aplicar el cribado, el cual “permite el seguimiento sobre los componentes principales obtenidos para comprobar hipótesis establecidas en un estudio de análisis de datos multivariados y para identificar datos atípicos en el conjunto de datos” (León, Lilnás, & Tilando, 2008).

Tal como afirma Pérez (2004) el ACP es un paso previo a otro análisis en los que se sustituye el conjunto de variables originales por los componentes obtenidos. En el presente trabajo se parte

de 10 variables originales como: el precio de cada criptoactivo de estudio, su volumen, precio histórico del índice Dow Jones, precio histórico del índice Dow Jones Commodities, precio del petróleo WTI, índice de volatilidad VIX, red y poder de cómputo. Sin embargo, se realiza el ACP para analizar el comportamiento de las variables mencionadas y enfocar el estudio entre aquellas que tengan un comportamiento relacionado al del precio del criptoactivo. Esto, con el fin de disminuir la posibilidad de que en el análisis posterior se obtengan correlaciones espurias.

i. Correlación entre variables

La correlación es una técnica estadística que se emplea para determinar la relación entre dos o más variables. Se considera que hay correlación entre dos variables cuando los valores de una de ellas varían con respecto a los valores homónimos de la otra en igual o distinto sentido, pudiéndose tratar de una relación directa o inversa.

Para el caso del ACP es fundamental que las variables originales presenten correlación entre ellas, pues de lo contrario el análisis carecería de sentido.

ii. Valores propios

Los valores propios miden la cantidad de variación retenida por cada componente principal. Estos son grandes para las primeras dimensiones y va disminuyendo para las posteriores, no obstante, la suma de los valores propios da una varianza total de 10 y el porcentaje acumulado explicado se obtiene con la suma de las proporciones sucesivas de variación explicadas para obtener el total acumulado.

Para el ACP deben examinarse los valores propios para determinar el número de componentes principales a considerar o mantener después del ACP. En la presente investigación se trabaja con las dos primeras dimensiones en cada análisis a efectuar, considerando que tienen, en todos los casos, más del 70% acumulado explicado.

iii. Componentes principales

Para Karl Pearson, quien desarrolló la técnica del análisis de componentes principales en el año 1901, un “componente” es la línea que mejor se ajusta a sistemas de puntos en el espacio, ya que la idea clave es la asociación (Alaminos, Francés, Penalva, & Santacreu, 2015). En el análisis de componentes principales se crean combinaciones lineales entre las variables observadas, así, en el primer CP se muestra la combinación que da cuenta de la mayor cantidad de varianza total, mientras en el segundo CP se observa la segunda mayor cantidad de varianza, sin estar correlación con el primer CP.

Este proceso se va repitiendo con la estimación de componentes que explican cada vez partes más pequeñas de la varianza total, pero si bien se podrían computar tantos componentes como variables haya no habría ninguna simplificación si tenemos tantos factores como variables originales. Por ello, se usan los componentes más significativos, es decir, con un porcentaje considerable de la varianza total explicada.

Las nuevas variables llamadas componentes principales se construyen para lograr los objetivos del ACP, por ello, estos no deben ser correlacionados dos a dos, eliminándose información redundante. Cada CP debe ser combinación lineal de las variables originales y la información contenida en la variable se ve reflejada en la componente.

Los CP permiten hacer una representación en pocas dimensiones de los hechos más sobresalientes de una tabla de datos, lo cual se puede observar en dos tipos de representaciones gráficas: a. los planos principales, b. los círculos de correlaciones (Jiménez, Murillo, Piza, Villalobos, & Trejos, 2010). Para el presente trabajo anexaremos los círculos de correlaciones para apreciar las agrupaciones de variables y su comportamiento respecto de los componentes principales.

iv. Círculo de correlación

Los círculos de correlaciones se obtienen a partir de las correlaciones entre las variables originales y los componentes principales normalizados. Este gráfico nos permite interpretar

aquellas posiciones relativas de los individuos de la misma forma que se puede evaluar para qué individuos las variables tienen grandes valores, es decir, por encima del promedio.

La calidad de la representación de las variables sobre el círculo de correlaciones es medida con el cuadrado del coseno del ángulo, la variable y su proyección. Entre las variables, el valor del coseno es igual a una correlación, por lo que serán las correlaciones las que midan la calidad de la representación de las variables (Jiménez, Murillo, Piza, Villalobos, & Trejos, 2010).

Esta gráfica que muestra las relaciones entre todas las variables puede interpretarse de la siguiente manera: a. Las variables positivamente correlacionadas se agrupan juntas, b. Las variables negativamente correlacionadas se colocan en lados opuestos del origen del gráfico (cuadrantes opuestos), c. La distancia entre las variables y el origen mide la calidad de las variables en el mapa de factores. Las variables que están lejos del origen están bien representadas en el mapa de factores. (Kassambara, 2017)

v. Contribuciones de variables a PC

Las contribuciones de las variables en la contabilización de la variabilidad en un componente principal dado se expresan en términos de porcentaje. (Kassambara, 2017) Aquellas variables correlacionadas con el primer y segundo componente principal, es decir, primera y segunda dimensión, son las más importantes para explicar la variabilidad en el conjunto de datos. Por el contrario, aquellas que no se correlacionan con las primeras dimensiones tienen poca contribución y puede eliminarse para simplificar el análisis.

3.6.2 Prueba de estacionariedad. Dickey Fuller Aumentado

Previo a realizar un modelo de regresión, es necesario conocer el orden de integración de cada una de las variables a estudiar. Para analizar la **estacionariedad** de las series de tiempo estudiadas, se empleó la prueba Dickey Fuller Aumentado. Dickey Fuller es una de las pruebas de raíz unitaria más utilizadas, propone el siguiente test de regresión:

$$z_t = \theta z_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$z_t - z_{t-1} = \theta z_{t-1} - z_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$\Delta z_t = (\theta - 1)z_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$\Delta z_t = \pi z_{t-1} + \varepsilon_t$$

La **hipótesis nula** es: $\pi = 0$, lo que equivale a $\theta = 1$, es decir, si hay presencia de raíz unitaria la serie de tiempo no es estacionaria; **la alternativa a esta hipótesis** es presencia de tendencia estacionaria si $\pi < 0$, esto implica que los datos son integrados de orden cero.

Una crítica a Dickey Fuller es que no toma en cuenta “la posible autocorrelación serial del proceso de error u_t ” (Pfaff, 2008), en el caso de que u_t esté autocorrelacionado, entonces los mínimos cuadrados estimados y sus variaciones no serán eficientes. Como solución a dicho problema, se utiliza la prueba **Dickey Fuller Aumentado** que sí toma en cuenta en los cálculos los errores en la regresión, esta prueba es considerada como la más eficiente entre los test simples de integración.

3.6.3 Prueba de cointegración

i. Prueba Engle y Granger

La cointegración ocurre cuando una o más series de tiempo son no-estacionarias, se puede definir como el equilibrio a largo plazo de un grupo de datos que puede ser medido y comprobado, los movimientos de estos datos son tales que una combinación lineal de ellos resulta en una serie de tiempo estacionaria, además comparten una tendencia estocástica subyacente. En muchos casos relacionados a series de datos en economía, se observa que estos fluctúan alrededor de un equilibrio a largo plazo.

Una prueba común para evaluar la cointegración en un conjunto de datos es la que desarrollaron Engle y Granger, por el orden de integración de la mayoría de las variables en este estudio, esta es la que aplicamos en tres de los cuatro criptoactivos con el objetivo de explorar la existencia de cointegración.

Engle y Granger se realiza en dos pasos, el primero siendo una prueba de raíz unitaria con el objetivo de confirmar que las variables estudiadas tienen un orden de integración I (1), en este trabajo realizamos Dickey-Fuller Aumentado (explicado en el apartado 3.6.2) para este fin. El segundo paso es estimar la regresión de cointegración, una vez realizada se obtienen los valores estimados de las elasticidades que relacionan a las variables independientes y la dependiente, en este paso se obtienen los residuos y a estos se les evalúa con la prueba DFA, si los residuos son I (0) entonces no se rechaza la hipótesis nula de cointegración.

La existencia de cointegración implica que las series de tiempo estarán conectadas a través de un modelo de corrección del error, este modelo es el que permite entender mejor las dinámicas a largo plazo entre las variables. En este modelo, el valor de corrección de error debe ser negativo y menos a 1 (en valor absoluto) ya que de esta manera se puede afirmar que hay un equilibrio entre el análisis de corto y largo plazo.

3.6.4 Modelo de Vectores Autorregresivos

Para este trabajo de investigación no es suficiente un modelo autorregresivo univariable, es decir, que describa únicamente las dinámicas del precio del criptoactivo. Estudiamos la posibilidad de que variables tanto financieras como tecnológicas interactúen y tengan una influencia en el precio de los criptoactivos analizados, por ende, el set de datos multivariable que combina la información en el tiempo, de máximo 9 variables, se puede estudiar de manera óptima con un modelo VAR ya que este generaliza el modelo autorregresivo univariable en un vector con múltiples variables económicas.

Desde la crítica de Sims en el año 1980, VAR se ha consolidado como la herramienta econométrica estándar para las series de tiempo multivariadas. “Las pruebas estadísticas son altamente utilizadas para determinar la interdependencia y relaciones dinámicas entre variables, pronto se volvió evidente que esta metodología puede ser enriquecida al incorporar información a priori no-estadística” (Pfaff, 2008).

Un Modelo VAR consiste en un set de K variables endógenas, donde:

$$y_t = (y_{1t}, \dots, y_{kt}, \dots, y_{Kt}) \text{ para } k = 1, \dots, K$$

El proceso VAR(p) es definido como:

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + CD_t + u_t$$

Donde

A_i : son matrices ($K \times K$) para $i = 1, \dots, p$

u_t : proceso de white noise

C : es la matriz de coeficientes de regresores, potencialmente determinísticos con dimensión $K \times M$

D_t : columna ($M \times 1$) que contiene los regresores determinísticos apropiados (como constantes, tendencia, dummy)

Una propiedad significativa del proceso VAR(p) es la **estabilidad**, este modelo cuenta con series de tiempo que son estacionarias, es decir, cuya media, varianza y covarianza no cambian en el tiempo. Entre las **ventajas** que ofrece, caben destacar: su fácil implementación, porque los coeficientes del modelo son fácilmente estimados mediante la aplicación de Mínimos Cuadrados Ordinarios a cada ecuación individual.

Otra ventaja y aporte del modelo es la prueba de causalidad de Granger que, como se profundizará más adelante, ayuda a conocer si una o más variables estudiadas permiten predecir el contenido de la variable principal; además VAR(p) permite aplicar la función impulso-respuesta, esta cuantifica los efectos que pueden tener en el tiempo choques positivos a una variable sobre nuestra variable principal que sería el precio del criptoactivo.

ii. Prueba de Portmanteau

Una vez estimado el Vector Autorregresivo para cada criptoactivo, se puede realizar la prueba de Portmanteau, para cada set de datos se estima un modelo VAR (1). Se aplica esta prueba con el objetivo de evaluar la **falta de una correlación serial en los residuos** del modelo VAR(p) (en nuestro caso VAR (1)). La estadística de Portmanteau se puede definir con la siguiente fórmula:

$$Q_h = T \sum_{j=1}^h tr(\widehat{C}'_j \widehat{C}_0^{-1} \widehat{C}_j \widehat{C}_0^{-1})$$

$$\text{Con } \hat{C}_i = 1/T \sum_{t=i+1}^T u_t \hat{u}'_{t-i}$$

“La estadística de la prueba tiene una distribución aproximada de $\chi^2 (K^2h-n^*)$, donde n^* es el número de coeficientes que excluyen los términos determinísticos del modelo VAR(p)” (Pfaff, 2008).

iii. Prueba de normalidad

Con el objetivo de analizar la normalidad del modelo, se aplica la **prueba Jarque-Bera** a los residuos del VAR(p), este test es aplicable a series univariantes o multivariantes, para el propósito de este estudio se utiliza la modalidad multivariable. Para complementar Jarque-Bera, se realizan las **pruebas de Skewness y Kurtosis** que profundizan el análisis de la normalidad, Skewness permite analizar la simetría alrededor de la media, mientras que Kurtosis permite conocer cuánta data hay en las colas y da una noción de qué tan “puntiaguda” es la distribución.

“La versión multivariable de la prueba Jarque-Bera puede ser computada al usar los residuos que están estandarizados por una descomposición Choleski de la matriz varianza-covarianza para los residuos centrados”. La prueba estadística multivariable es:

$$JB_{mw} = s_3^2 + s_4^2$$

Donde,

$$s_3^2 = Tb'_1b_1/6$$

$$s_4^2 = T(b_2 - 3_K)'(b_2 - 3_K)/24$$

b_1 y b_2 son los tercer y cuarto vectores de momento no-centrales de los residuos estandarizados.

Los residuos estandarizados: $\hat{u}_t^s = \tilde{P} - (\hat{u}_t - \overline{\hat{u}_t})$, donde $\tilde{P}$: es una matriz triangular inferior con diagonal positiva. La prueba Jarque-Bera es ideal cuando se cuenta con grandes sets de datos, otras pruebas de normalidad no resultan tan confiables como esta cuando la muestra n es muy grande. **La hipótesis nula** es que la data está normalmente distribuida, la **hipótesis alternativa** es que la data no proviene de una distribución normal.

Para este trabajo de investigación se analizan 7 variables financieras, cabe destacar que: “En general, los retornos financieros no están normalmente distribuidos. Empíricamente, muchos investigadores han reportado evidencia en contra de la normalidad de los retornos. En análisis empíricos, las series de tiempo financieras tienden a ser de colas pesadas (o “leptokurtic”), características que son acentuadas cuando la data está recolectada de forma frecuente” (Rao, Rao, & Rao, 2012).

vi. Prueba de Autocorrelación – Heterocedasticidad (Test ARCH)

Cuando se trata de variables financieras, se debe considerar que poseen características que los procesos lineales clásicos, como los AR o ARMA no toman en cuenta la hora de modelar. Una de las particularidades que tienen dichas series es la heterocedasticidad condicional, es decir, la variabilidad condicional no es constante a lo largo de la serie (Amate, 2018). Para solucionar esta diferencia con respecto a los procesos lineales clásicos, se desarrollan los modelos de heterocedasticidad condicional autorregresiva (ARCH) donde la evolución de la volatilidad condicional juega un papel transcendental.

Con el fin de distinguir situaciones de autocorrelación y heterocedasticidad en modelos temporales, se realiza el test ARCH propuesto por Engle que permite analizar la volatilidad condicional que presentan la mayoría de las series del mercado financiero, las cuales tienen períodos turbulentos, con cambios bruscos, seguidos de períodos de calma con algunas fluctuaciones. (Amate, 2018).

El rechazo de la hipótesis nula indica la presencia de heterocedasticidad. La prueba multivariada de ARCH se basa en la siguiente regresión:

$$\text{vech}(\hat{u}_t \hat{u}_t') = \beta_0 + B_1 \text{vech}(\hat{u}_{t-1} \hat{u}_{t-1}') + \dots + B_q \text{vech}(\hat{u}_{t-q} \hat{u}_{t-q}') + v_t$$

Donde v_t asigna un proceso de error esférico y vech es el operador de apilamiento de columnas para matrices simétricas que apila las columnas desde la diagonal principal hacia abajo. La dimensión β_0 es $\frac{1}{2}K(K+1)$ y para las matrices de coeficientes B_i con $i = 1, \dots, q$, $\frac{1}{2}K(K+1)$ x $\frac{1}{2}K(K+1)$. La hipótesis nula es $H_0 := B_1 = B_2 = \dots = B_q = 0$ y la alternativa es $H_1: B_1 \neq 0 \cap B_2 \neq 0 \cap \dots \cap B_q \neq 0$. El test estadístico es definido como:

$$VARCH_{LM}(q) = \frac{1}{2}TK (K + 1)R_m^2,$$

con

$$R_m^2 = 1 - \frac{2}{K(K+1)}tr(\widehat{\Omega}\widehat{\Omega}_0^{-1}),$$

En la presente investigación donde se utiliza el programa R para la elaboración del modelo, $\widehat{\Omega}$ asigna la matriz de covarianza del modelo de regresión previamente definido. Este estadístico se distribuye como $X^2(qK^2(K + 1)^2/4)$.

vii. Causalidad de Granger

Uno de los puntos principales de interés al realizar la estimación del VAR(p) es detectar las causalidades entre variables, la prueba más común de causalidad es la de Granger. Charemza y Deadman la definen como: “x es una causa Granger de y, si la variable y del tiempo presente puede predecirse con mayor precisión al usar valores pasados de x en lugar de no tomarlos en cuenta, *ceteris paribus* al resto de la información” (Charemza & Deadman, 1997, pág. 37). En otras palabras, esta prueba es un método estadístico para investigar el flujo de información entre series de tiempo.

Se calcula separando un vector de variables endógenas y_t , en dos sub-vectores y_{1t} y y_{2t} , dos dimensiones ($K_1 \times 1$) y ($K_2 \times 2$) con $K = K_1 + K_2$.

$$\begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^p \begin{bmatrix} \alpha_{11,i} & \alpha_{12,i} \\ \alpha_{21,i} & \alpha_{22,i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,t-i} \\ y_{2,t-i} \end{bmatrix} + CD_t + \begin{bmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{bmatrix}$$

Siendo la hipótesis nula que el sub-vector y_{1t} no causa de forma Granger a y_{2t} .

viii. Análisis Impulso Respuesta

El análisis impulso-respuesta se emplea para estudiar las interacciones dinámicas entre variables endógenas. Este tipo de análisis es uno de los aportes más importantes que realiza el modelo VAR, el propósito principal del impulso-respuesta es describir la manera en la cual una

variable del modelo reacciona al shock aplicado a otra u otras variables. Está basado en la representación de la media móvil de Wold en un proceso VAR(p), que se calcula de la siguiente forma:

$$y_t = \phi_0 u_t + \phi_1 u_{t-1} + \phi_2 u_{t-2}$$

A su vez, las matrices ϕ_s pueden ser computadas de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\phi_s = \sum_{j=1}^s \phi_{s-j} A_j \quad \text{para } s = 1, 2, \dots,$$

De estas ecuaciones se puede obtener el impacto acumulado de un cambio unitario en la variable j sobre la variable i en un tiempo s. También es posible utilizar impulso-respuestas ortogonales, se usan en el caso de que los shocks tengan mayor probabilidad de ocurrir de forma aislada en vez de en correlación contemporánea con componentes del proceso de error. Para el propósito de nuestra investigación emplearemos la forma ortogonal.

Esta forma de impulso-respuesta es derivada de la descomposición de Choleski en la matriz varianza-covarianza. La representación de la media móvil es transformada de la siguiente manera:

$$y_t = \psi_{0\varepsilon t} + \psi_{1\varepsilon t-1} + \dots,$$

$$\text{con } \varepsilon t = P^{-1}u_t \text{ y } \psi_i = \phi_i P \quad \text{para } i = 0, 1, 2, \dots \text{ y } \psi_0 = P$$

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de Componentes Principales

El ACP es realizado para cada uno de los criptoactivos que son objeto de estudio en la presente investigación, ya que nos permite realizar un análisis exploratorio entre las variables (financieras y tecnológicas) y el comportamiento de los precios en cada criptoactivo.

Su importancia deriva en que, partir de los resultados obtenidos, se seleccionarán las variables cuyo comportamiento sea relevante respecto a las variaciones de precio de cada criptoactivo. En ese sentido, se parte de las variables originales como son: precio de los criptoactivos (Bitcoin, Ethereum, Litecoin y Monero), su poder de cómputo, red, volumen, índice Dow Jones, índice Dow Jones *Commodities*, precio del petróleo West Texas Intermediate, precio del oro, e índice de volatilidad VIX, de las cuales se extraen los autovalores o varianzas de componentes principales que miden la cantidad de variación retenida por cada uno de ellos.

Los valores propios se examinan para determinar el número de componentes principales a considerar en los análisis ulteriores de cada criptoactivo, pues las primeras corresponden a las direcciones con la máxima variación en el conjunto de datos. Posteriormente se estiman las contribuciones, para observar en cuanto porcentaje las dimensiones poseen información de cada variable

4.1.1 Valores propios

El siguiente cuadro recoge la cantidad de valores propios y porcentaje de varianza acumulada en la segunda dimensión de las variables respecto a cada uno de los criptoactivos. Sin embargo, para la evaluación de ETH tuvo que suprimirse de este primer caso la variable red, mientras que en el caso de LTC se suprimieron las variables red y VIX, ya que al realizar un estudio previo las mismas dichas variables no sólo no eran representativa, sino que disminuían el porcentaje de varianza en cantidades considerables, en el resto de los casos se toman en consideración todas las

“variables originales”. En todos los análisis se utilizan las primeras dos dimensiones ya que recogen **más del 70%** de la variación acumulada.

Tabla 1: Valores propios y varianza acumulada.

	Bitcoin		Ethereum		Litecoin		Monero	
	eigenvalue	%var acum	eigenvalue	%var acum	eigenvalue	%var acum	eigenvalue	%var acum
Dim.1	5,016210	55,756	4,927883	54,75426	4.278017	53.47522	5,307772	58,97524
Dim.2	1,379448	71,0628	1,817564	74,94942	1.604437	73.53069	1,455749	75,15024

Fuente: *Elaboración propia*

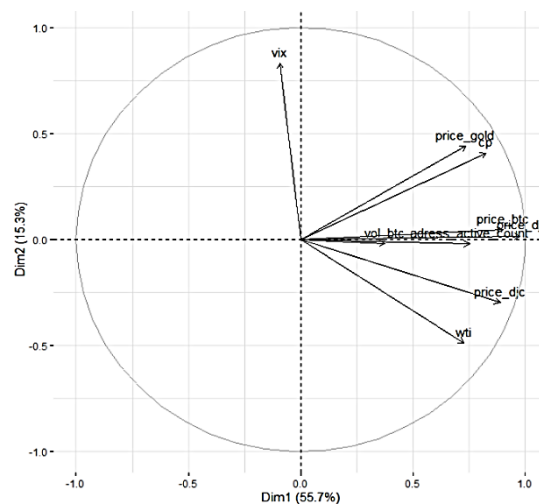
4.1.2 Círculo de correlación

A continuación, se presentan los círculos de correlación entre variables para BTC, ETH, LTC y XMR, respectivamente. La calidad de la representación de las variables sobre el círculo de correlaciones es medida con el cuadrado del coseno del ángulo, la variable y su proyección.

i. Bitcoin

En el caso de BTC, las variables que están más correlacionadas positivamente con su precio son el precio de Dow Jones, volumen y red. En menor medida también lo están las variables poder de cómputo y precio del oro que se ubican en el mismo cuadrante.

Gráfica 1: Círculo de correlación BTC

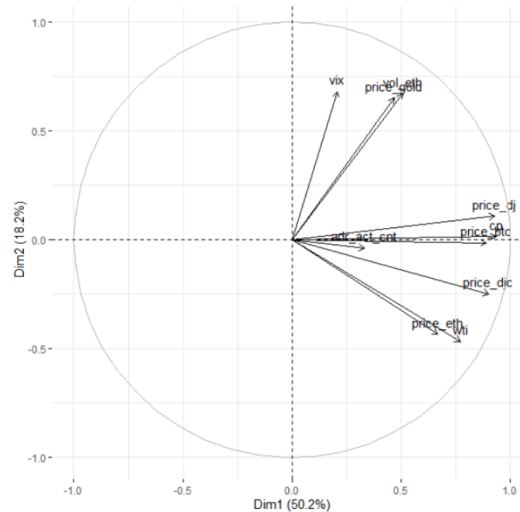


Fuente: *Elaboración propia*

ii. Ethereum

A continuación, se observa que el precio de ETH presenta una correlación positiva con el precio del petróleo WTI, el de Dow Jones Commodities y el precio de BTC, mientras la relación es casi insignificante con variables como precio del oro, VIX y volumen.

Gráfica 2: Círculo de correlación ETH

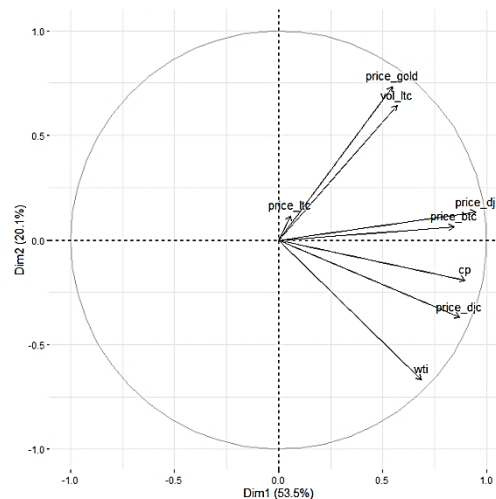


Fuente: Elaboración propia

iii. Litecoin

Para LTC, las variables con una correlación positiva respecto a su precio son el precio del oro y su volumen, así mismo con el precio de BTC e índice DJ, aunque en menor medida. Por su parte, su comportamiento no se alinea al del precio de WTI, índice DJC.

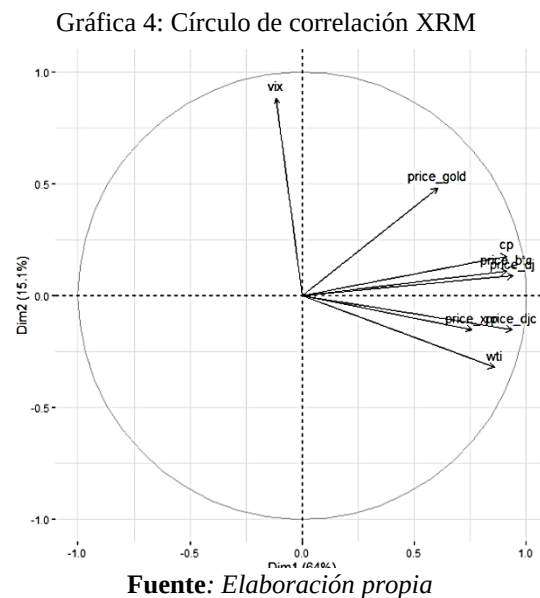
Gráfica 3: Círculo de correlación LTC



Fuente: Elaboración propia

iv. Monero

En el caso de XMR, se puede apreciar una correlación positiva de su precio con las variables precio del petróleo WTI, precio de Dow Jones Commodities, precio de Dow Jones, y precio de BTC. Sin embargo, con el índice de volatilidad VIX tiene una correlación negativa, mientras que dista de variable como volumen y precio del oro.



4.1.3 Contribuciones de las variables

Para definir cuáles de las variables originales son prescindibles para el análisis posterior debe observarse la calidad de la explicación de éstas en cada dimensión, así como su contribución en la mismas.

Las contribuciones de las variables en la contabilización de la variabilidad en un componente principal dado se expresan en porcentaje. Aquellas variables correlacionadas con las primeras dos dimensiones son las más importantes para explicar la variabilidad en el conjunto de datos. Cuanto mayor sea el valor de la contribución, más contribuye la variable al componente.

A continuación, se presenta una tabla con los porcentajes de contribución de cada variable en las primeras dos dimensiones mediante el cual se puede observar el porcentaje de significancia que aporta cada variable a la totalidad de la dimensión

Tabla 2: Contribuciones de las variables

	Bitcoin		Ethereum		Litecoin		Monero	
	Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2
Precio criptoactivo	16,1296	0,15900	9,0055	10,4033	0.075997	0.827032	10,0590	9,69644
	86	27	82	94	17	5	18	57
Precio Dow Jones	19,4	0,00371	17,663	0,60476	21.08667	1.105996	17,1057	0,8145
		58	13	96	88	0	67	
Precio Dow Jones	15,7258	6,40173	16,605	3,47143	17.72702	8.518780	16,2949	1,81625
Commodities	5	29	24	41	836	7	88	6
Precio Oro	10,7784	14,1026	4,5532	23,1669	6.981712	33.49933	7,81037	25,5808
	9	41	03	36	44	94	38	2
Precio BTC	N/A	N/A	16,131	0,01599	16.66560	0.248076	15,7497	0,00834
			79	01	82	440	87	27
VIX	0,00178	0,49964	0,8510	25,5257	N/A	N/A	0,20308	19,2354
	4	05	06	80			54	55
WTI	10,5114	17,2705	12,139	12,1607	11.06138	0.248076	13,0856	11,3392
	4	43	06	48	466	440	44	79
Volumen	2,81820	0,02967	5,2506	24,6439	7.581877	25.72161	4,22405	31,5033
	6	19	12	48	61	56	31	00
Poder de cómputo	13,5734	12,0285	17,800	0,00703	N/A	N/A	15,4672	0,00551
	1	34	35	78			81	09
Red	11,2837	0,02685	N/A	N/A	9,623603	5,56E+00	N/A	N/A
	2	13						

Fuente: *Elaboración propia*

Si bien cada una de las variables previamente presentadas aportan un porcentaje a la explicación de una dimensión, no todas lo hacen en igual medida ya que algunas se ven representadas con mayor *calidad* que otras.

Por ello, es necesario evaluar la calidad explicativa de las variables para aplicar un criterio de selección, fundamental para las posteriores evaluaciones.

Tabla 3: Calidad explicativa de variables

		Bitcoin		Ethereum		Litecoin		Monero	
		Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2
Precio		0,809099	0,002193	0,44378	0,189088	0.0032511	0.0132692	0,533909	1,41E-
criptoactivo				4	4	73	16	7	01
Precio Dow Jones		0,953115	0,000271	0,87041	0,010992	0.9020657	0.0177450	0,907935	1,19E-
		5	3	8	0	53	11	1	02
Precio Dow Jones		0,788841	0,088308	0,81828	0,063095	0.7583654	0.1366784	0,864900	2,64E-
		7	6	6	5	42	84	8	01
Commodities									
Precio Oro		0,540672	0,194538	0,22437	0,421074	0.2986789	0.5374758	0,414556	3,72E-
				6	0	06	55	8	01
Precio BTC		N/A	N/A	0,79495	0,000228	0.7129351	0.0039633	0,835962	1,21E-
				6	9	95	77	8	04
VIX		0,008952	0,689228	0,04193	0,463947	N/A	N/A	0,010779	2,80E-
		3	4	6	5			3	01
WTI		0,52726	0,238238	0,59819	0,221029	0.4732080	0.4461561	0,694556	1,65E-
				8	4	13	78	1	01
Volumen		0,141367	0,000371	0,25874	0,447919	0.3243540	0.4126873	0,224203	4,59E-
		1	9	4	6	80	23	1	01
Poder de cómputo		0,680871	0,165927	0,87718	0,000127	0.8051593	0.0364617	0,820968	8,02E-
				0	9	14	30	0	05
Red		0,566015	0,000271	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
		5	3						

Fuente: *Elaboración propia*

Con base a los resultados anteriores, se determinan las variables a utilizar para análisis posterior de cada criptoactivo, eligiendo aquellas cuya calidad explicativa sea **mayor al 50% en al menos una dimensión**. Sin embargo, excepcionaremos el uso de este criterio para el análisis de BTC y, en general, para los precios de los criptoactivos.

Los resultados anteriores permiten realizar los diagramas de barras de contribuciones variables (Anexo A.4), en el cual la línea indica la contribución promedio esperada. Así, aquellas variables

que están ubicadas por debajo de dicha línea, con excepción de los precios de los criptoactivos, son eliminadas de los análisis posteriores, en concordancia con el criterio previamente explicado.

4.2 Análisis de estacionariedad de las variables

Para proseguir con el análisis de estacionariedad y en concordancia con los resultados observados en el modelo de Análisis de Componentes Principales, se toma la decisión de estudiar en lo sucesivo las siguientes variables para cada criptoactivo:

- **Bitcoin:** precio de Bitcoin, precio de Dow Jones, precio de Dow Jones Commodities, poder de cómputo, precio del oro, precio del petróleo WTI, red, volumen, VIX.
- **Ethereum:** precio de Ethereum, precio de Bitcoin, precio de Dow Jones, precio de Dow Jones Commodities, poder de cómputo, precio del petróleo WTI.
- **Litecoin:** precio de Litecoin, precio de Bitcoin, precio del oro, precio de Dow Jones, precio de Dow Jones Commodities, poder de cómputo.
- **Monero:** precio de Monero, precio de Bitcoin, precio de Dow Jones, precio de Dow Jones Commodities, poder de cómputo, precio del oro, precio del petróleo WTI.

El objetivo de la presente investigación es determinar si existe una relación o no entre los precios de criptoactivos y las variables seleccionadas, por ello resulta apropiado para este análisis el Modelo de Vectores Autorregresivos. Antes de su aplicación se debe comprobar que las series de tiempo estudiadas cumplan con **condiciones de estacionariedad**. Estas condiciones son: 1) Media finita y constante con respecto al tiempo; 2) Varianza finita y constante respecto al tiempo; y, 3) Covarianza finita, constante con respecto al tiempo

4.2.1 Dickey Fuller Aumentado

Para caracterizar la estacionariedad de las variables se aplica la prueba de Dickey Fuller Aumentado (DFA) a las series de tiempo con el objetivo de estudiar la raíz unitaria de cada variable, definiendo a su vez si son series estacionarias o no. A continuación, se presentan los resultados de la prueba de raíz unitaria en dos tablas, dado que las variables: precio, poder de cómputo, volumen

y red varían para cada criptoactivo, mientras que las variables financieras no dependen de esto último. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 4: Prueba de estacionariedad

Variables	Valor de prueba estadística	Valor crítico 5%
Precio de Dow Jones	0,0154	-3,41
Precio de Dow Jones Commodities	-0,5971	-3,41
Precio del oro	-2,7483	-3,41
Precio del petróleo WTI	-1,0218	-3,41
Índice de volatilidad	1,0078	-3,41

* Las fechas de evaluación de este grupo de variables van desde el día 02/01/2015 hasta el día 16/03/2020.

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 5: Prueba de estacionariedad

Variables	Valores	Bitcoin	Ethereum	Litecoin	Monero
Precio	Valor de prueba estadística	-2,038	-1,6182	-21,1706	-1,6922
	Valor crítico 5%	-3,41	-3,41	-3,41	-3,41
Poder de Cómputo	Valor de prueba estadística	-6,4708	-1,2188	-1,1803	-1,3991
	Valor crítico 5%	-3,41	-3,41	-3,41	-3,41
Red	Valor de prueba estadística	-5,2136	-16,2983	-4,4046	N/A
	Valor crítico 5%	-3,41	-3,41	-3,41	N/A
Volumen	Valor de prueba estadística	-11,1138	-11,2065	-9,461	-8,7579
	Valor crítico 5%	-3,41	-3,41	-3,41	-3,41

Fuente: *Elaboración propia*

Con base a los resultados observados en ambas tablas podemos afirmar que hay presencia de raíz unitaria en las variables: Dow Jones, Dow Jones Commodities, precio del Oro, precio del petróleo, precio de BTC, precio de ETH, precio de XMR, poder de cómputo ETH, poder de cómputo LTC y poder de cómputo XMR. En otras palabras, las variables mencionadas no tienen tendencia estacionaria.

Por su parte, las variables precio de LTC, poder de cómputo de BTC, red (de cada criptoactivo), y volumen (de todos los criptoactivos), no presentan raíz unitaria por lo que se puede afirmar con un nivel de 5% de confianza **son estacionarias**, en otras palabras, estos datos son integrados de orden 0.

Estos resultados eran de esperarse por la naturaleza de nuestras variables. Ahora bien, se procede a aplicar la **primera diferencia** a las variables no estacionarias para transformarlas. Así, los nuevos resultados son los siguientes:

Tabla 6: Prueba de estacionariedad - Primera diferencia

Variables	Valor de prueba estadística	Valor crítico 5%
Precio de Dow Jones	-25,6032	-3,41
Precio de Dow Jones Commodities	-23,8955	-3,41
Precio del oro	-26,9392	-3,41
Precio del petróleo WTI	-25,34	-3,41
Índice de volatilidad	-27,3241	-3,41

* Las fechas de evaluación de este grupo de variables van desde el día 02/01/2015 hasta el día 16/03/2020.

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 7: Prueba de estacionariedad - Primera diferencia

Variables	Valores	Bitcoin	Ethereum	Litecoin	Monero
Precio	Valor de prueba estadística	-25,4539	-21,9429	N/A	- 28,2572
	Valor crítico 5%	-3,41	-3,41	N/A	-3,41
Poder de Cómputo	Valor de prueba estadística	N/A	-24,6725	-23,2252	- 26,4795
	Valor crítico 5%	N/A	-3,41	-3,41	-3,41

Fuente: *Elaboración propia*

Ante los nuevos resultados se puede afirmar con un nivel de 5% de confianza que en las variables estudiadas no existe raíz unitaria. Las series son estacionarias después de aplicar la primera diferencia, es decir, son **integradas de orden 1**, con la excepción de las tres variables mencionadas: red, volumen y poder de cómputo (esta última solo en el caso de Bitcoin) que son integradas de orden 0.

4.3 Prueba de Cointegración Engle y Granger

Con base a los objetivos de esta investigación, es primordial determinar si las variables seleccionadas previamente en el ACP son factores que influyen a corto y largo plazo en la valoración de los criptoactivos. En consecuencia, se precisa una metodología de cointegración que establece que la combinación lineal entre dos o más variables debe cumplir con la condición de estacionariedad evaluada.

El análisis de cointegración de Engle y Granger permite evaluar la relación de equilibrio a largo plazo entre las variables. Por su parte, para modelar la dinámica de corto plazo al equilibrio de largo plazo, Engle y Granger indican que es necesario construir un Modelo de Corrección de Error (MCE). (Engle & Granger, 1987)

4.3.1 Estimación de la relación funcional a largo plazo

Dado que las variables: precio de Bitcoin, precio de Dow Jones, precio de Dow Jones Commodities, precio del oro, precio del petróleo WTI, VIX, poder de cómputo (exceptuando el caso de BTC), precio de Ethereum y precio de Monero son todas **no estacionarias y de orden uno**, se aplica la prueba de Engle y Granger para determinar si existe o no cointegración entre las variables estudiadas y así determinar con mayor precisión la posible relación entre el precio de cada criptoactivo con el resto de las variables. Se procede entonces a estimar las **elasticidades**:

Modelo 1:

$$\ln(\text{precio de Bitcoin}) = \alpha_1 + \alpha_2 \ln(\text{precio de Dow Jones}) + \alpha_3 \ln(\text{precio de Dow Jones Commodities}) + \alpha_4 \ln(\text{precio del oro}) + \alpha_5 \ln(\text{precio del petróleo WTI}) + \alpha_6 \ln(\text{VIX}) + \varepsilon_{1t}$$

Tabla 8: Coeficientes de ecuación - Modelo 1

Intercepto	Coeficientes				
	log(precio DJ)	log(Precio DJC)	log(precio oro)	log(WTI)	log(VIX)
-73,00822	8,01302	2,12248	-0,97913	-1,51259	0,03905

Fuente: Elaboración propia

Todas las variables del modelo, excepto el índice de volatilidad, resultan estadísticamente significativas. Al evaluar la estacionariedad de los residuos, aplicando a estos la prueba Dickey Fuller Aumentado, se puede apreciar que a un nivel de 5% de confianza no presentan raíz unitaria, en otras palabras, **los residuos son estacionarios** lo cual implica que las variables estudiadas por el modelo tienen una relación a largo plazo con el precio de Bitcoin. Afirmamos que el **precio de Bitcoin está cointegrado con las variables del modelo**.

Para este primer modelo, donde la variable dependiente es el precio de Bitcoin se observa que su precio va a aumentar 8,01% por cada aumento de 1% del precio de Dow Jones (*ceteris paribus*), aumentará 2,12% por cada aumento de 1% del precio de Dow Jones Commodities, el precio de Bitcoin va a disminuir 0,98% por cada aumento de 1% del precio del oro, también disminuirá 1,51% por cada aumento de 1% del precio del petróleo WTI y aumentará 0,04% por cada aumento de 1% del índice de volatilidad.

En ese sentido, no podemos rechazar la hipótesis de que el precio de DJ tiene un efecto sobre el precio de BTC en el largo plazo lo que se sustenta con los resultados del trabajo de Dennis van Wijk quien demuestra que dicha influencia es positiva y significativa en el corto y largo plazo. Esta relación positiva se repite con el índice de DJC y VIX en menor medida, lo cual es consistente con las anteriores investigaciones similares que afirman que la relación entre el comportamiento de estas variables y el precio del BTC es insignificante.

Por otra parte, el coeficiente para el precio del petróleo WTI tiene un signo negativo, coherente con la intuición económica dado que en estudios como el de van Wijk se obtuvo un efecto insignificante en el corto plazo, pero negativo entre esta variable y el precio de BTC en el largo plazo.

Modelo 2:

$$\ln(\text{precio de Ethereum}) = \beta_1 + \beta_2 \ln(\text{precio de Bitcoin}) + \beta_3 \ln(\text{precio de Dow Jones}) + \beta_4 \ln(\text{precio de Dow Jones Commodities}) + \beta_5 \ln(\text{precio del petróleo WTI}) + \beta_6 \ln(\text{poder de cómputo}) + \varepsilon_{2t}$$

Tabla 9: Coeficientes de ecuación - Modelo 2

Coeficientes					
Intercepto	log (precio BTC)	log (precio DJ)	log (Precio DJC)	log (WTI)	log (PC)
63,2929	1,3646	-6,9387	-1,3832	0,4515	0,5563

Fuente: *Elaboración propia*

Todas sus variables resultaron estadísticamente significativas. Se realiza la prueba Dickey Fuller Aumentado para analizar la estacionariedad de los residuos y se observa que a un nivel de 1% de confianza no presentan raíz unitaria, es decir, las variables estudiadas por el modelo tienen una relación a largo plazo con el precio de Ethereum. Afirmamos que el **precio de ETH está cointegrado con las variables del modelo**.

En este modelo la variable dependiente es el precio de Ethereum, a partir del mismo se puede afirmar que este precio va a disminuir 6,9% por cada aumento de 1% del precio de Dow Jones, cae 1,4% por cada aumento de 1% del precio de Dow Jones Commodities, va a aumentar 0,45% por cada aumento de 1% del precio del petróleo, también aumentará 0,6% por cada aumento de 1% del poder de cómputo de este criptoactivo, por último se espera que aumente el precio de ETH en 1,4% dado un aumento de 1% del precio de Bitcoin.

Para el resultado de esta altcoin se observa que el efecto del precio del BTC sobre su precio es consistente con la intuición económica dada la alta relación que poseen los altcoins minables y el bitcoin como criptoactivo más “popular”, en ese sentido, se espera que un aumento del BTC impacte de manera positiva en el precio de ETH. Contrario a lo anterior, el efecto del índice DJ es negativo al igual que el del índice DJC, lo cual puede responder a la divergencia de los inversores financieros quienes tendrán en todo caso mayor confianza con el BTC como criptoactivo más estable; una relación negativa entre Ethereum y estas dos variables financieras significaría que poseer este criptoactivo ayudaría a la diversificación de un portafolio de inversiones.

Por su parte, la relación obtenida con el PC de ETH es coherente con lo esperando con el comportamiento de los criptoactivos tal como lo exponen Bhambhwani, Delikouras, Korniotis para la Universidad de Miami en 2019 quienes afirman que los criptoactivos están influenciados por su poder de cómputo, aunque existan desviaciones esporádicas gracias al sentimiento del inversor.

Modelo 3:

$$\ln(\text{precio de Monero}) = \varphi_1 + \varphi_2 \ln(\text{precio de Bitcoin}) + \varphi_3 \ln(\text{precio de Dow Jones}) + \varphi_4 \ln(\text{precio de Dow Jones Commodities}) + \varphi_5 \ln(\text{precio del petróleo WTI}) + \varphi_6 \ln(\text{poder de cómputo}) + \varepsilon_{3t}$$

Tabla 10: Coeficientes de ecuación - Modelo 3

Coeficientes					
Intercepto	log (precio BTC)	log (precio DJ)	log (Precio DJC)	log (precio WTI)	log (PC)
5,4275	1,0937	-5,9806	7,1648	-0,4360	0,4317

Fuente: Elaboración propia

Al evaluar las variables explicativas de este modelo se puede concluir que todas son **estadísticamente significativas**. Al analizar la estacionariedad de los residuos del modelo, utilizando DFA, se concluye que estos son estacionarios con un 5% de confianza, por consiguiente, podemos afirmar que existe una **relación de cointegración entre Monero y estas variables explicativas en el largo plazo**.

El modelo 3 tiene como variable dependiente el precio de Monero, en él se observa que este precio va a disminuir 5,98% por cada aumento de 1% del precio de Dow Jones, aumentará 7,16% por cada aumento de 1% del precio de Dow Jones Commodities, también disminuye 0,44% por cada aumento de 1% del precio del precio del petróleo, aumentará 0,43% por cada aumento de 1% de su poder de cómputo, y por último se espera que aumente 1,09% dado un aumento de 1% del precio de Bitcoin (*ceteris paribus*).

De los resultados obtenidos, la relación con mayor relevancia y explicación en sentido económico es entre el precio de esta altcoin y BTC dado el impacto de este último sobre los criptoactivos por su popularidad. Así mismo, la relación positiva entre el precio de XMR y su poder de cómputo se sustenta en estudios previos como el de Bhambhwani, Delikouras y Korniotis y que supone un aumento en el nivel de confianza del criptoactivo.

Sin embargo, el *impacto positivo* del índice DJC con el precio de XMR puede deberse a comportamientos coincidentes mas no relevantes dado que no existen elementos ni estudios que sustenten una relación trascendental entre ambas variables.

4.3.2 Modelos de Corrección de Errores

Con base a los resultados del apartado anterior, todos los precios de criptoactivos están cointegrados con sus variables explicativas, lo que permite proceder a realizar una extensión de estos modelos ya que gracias a dicha cointegración se puede hacer uso de los residuos para corregir los errores en el corto plazo. Se presentan los siguientes Modelos de Corrección de Errores para cada criptoactivo.

Modelo 1:

$$\Delta \text{Ln}(\text{precio de Bitcoin}) = \alpha_1 + \alpha_2 \Delta \text{Ln}(\text{precio de Dow Jones}) + \alpha_3 \Delta \text{Ln}(\text{precio de Dow Jones Commodities}) + \alpha_4 \Delta \text{Ln}(\text{precio del oro}) + \alpha_5 \Delta \text{Ln}(\text{precio del petróleo WTI}) + \alpha_6 \Delta \text{Ln}(\text{VIX}) + \alpha_7 \text{red} + \alpha_8 \text{poder de cómputo} + \alpha_9 \text{volumen} + \mu \varepsilon_{1(t-1)} + \mu_{1t}$$

Resultado de la regresión:

$$\Delta \text{Ln}(\text{precio de Bitcoin}) = -0,2 + 0,8 \Delta \text{Ln}(\text{precio de Dow Jones}) + 0,3 \Delta \text{Ln}(\text{precio de Dow Jones Commodities}) + 0,35 \Delta \text{Ln}(\text{precio del oro}) - 0,13 \Delta \text{Ln}(\text{precio del petróleo WTI}) + 0,01 \Delta \text{Ln}(\text{VIX}) + 0,02 \text{Red} - 0,005 \text{poder de cómputo} + 0,001 \text{volumen} - 0,009 \varepsilon_{1(t-1)} + \mu_{1t}$$

Las variables Dow Jones, precio del oro, red y poder de cómputo resultaron **estadísticamente significativas** para el modelo en cuestión. Además, se observa que el coeficiente del error es negativo y su valor absoluto es menor que 1, lo que permite aceptar que la relación a corto plazo tiende a la de largo plazo para los modelos de Bitcoin.

Con estos nuevos valores, se puede afirmar que las variables Dow Jones, Dow Jones Commodities y precio del petróleo WTI están subestimadas en el corto plazo, cada una mantiene su signo. El impacto del precio del oro sobre el precio de Bitcoin está sobrestimado en el corto ya

que tiene un efecto positivo sobre el precio de BTC, mientras que en el largo plazo tiene una elasticidad de -0,98, el impacto de VIX se mantiene casi igual en el tiempo.

Se revisan las propiedades de los errores de la regresión a través de pruebas de correlación, homogeneidad y normalidad, y después de aplicar las correcciones correspondientes al modelo se puede afirmar que la ecuación de corto plazo está especificada en forma correcta.

Modelo 2.

$$\Delta \text{Ln}(\text{precio de Ethereum}) = \beta_1 + \beta_2 \Delta \text{Ln}(\text{precio de Dow Jones}) + \beta_3 \Delta \text{Ln}(\text{precio de Dow Jones Commodities}) + \beta_4 \Delta \text{Ln}(\text{precio de Bitcoin}) + \beta_5 \Delta \text{Ln}(\text{precio del petróleo WTI}) + \beta_6 \Delta \text{Ln}(\text{poder de cómputo}) + \mu \varepsilon_1(t-1) + \mu_1 t$$

Resultado de la regresión:

$$\Delta \text{Ln}(\text{precio de Ethereum}) = -0,0003 + 0,6 \Delta \text{Ln}(\text{precio de Dow Jones}) - 0,5 \Delta \text{Ln}(\text{precio de Dow Jones Commodities}) + 0,85 \Delta \text{Ln}(\text{precio de Bitcoin}) + 0,09 \Delta \text{Ln}(\text{precio del petróleo WTI}) + 0,07 \Delta \text{Ln}(\text{poder de cómputo}) - 0,0055 \varepsilon_1(t-1) + \mu_1 t$$

Se observa que el coeficiente del error es negativo y su valor absoluto es menor que 1, por lo anterior se puede aceptar que la relación a corto plazo tiende a la de largo plazo para los modelos de Ethereum. Las variables precio de Dow Jones, precio de Bitcoin y poder de cómputo resultaron **estadísticamente significativas** para el modelo en cuestión.

Contando con estos nuevos resultados se observa que en el modelo de corto plazo los efectos de las variables precio de BTC, Dow Jones Commodities, precio de petróleo y poder de cómputo fueron subestimados, mientras que el efecto de Dow Jones fue sobrestimado en el corto plazo.

Se revisan las propiedades de los errores de la regresión a través de pruebas de normalidad, correlación y homogeneidad, y después de aplicar las correcciones correspondientes al modelo se puede afirmar que la ecuación de corto plazo está especificada en forma correcta.

Modelo 3. Monero

$$\Delta \text{Ln} (\text{precio de Monero}) = \phi_2 \Delta \text{Ln} (\text{precio de Dow Jones}) + \phi_3 \Delta \text{Ln} (\text{precio de Dow Jones Commodities}) + \phi_4 \Delta \text{Ln} (\text{precio de Bitcoin}) + \phi_5 \Delta \text{Ln} (\text{precio del petróleo WTI}) + \phi_6 \Delta \text{Ln} (\text{poder de cómputo}) + \mu \varepsilon_1(t-1) + \mu_1 t$$

Resultado de la regresión:

$$\Delta \text{Ln} (\text{precio de Monero}) = 0,001 + 0,13 \Delta \text{Ln} (\text{precio de Dow Jones}) + 0,21 \Delta \text{Ln} (\text{precio de Dow Jones Commodities}) + 0,86 \Delta \text{Ln} (\text{precio de Bitcoin}) - 0,1 \Delta \text{Ln} (\text{precio del petróleo WTI}) + 0,021 \Delta \text{Ln} (\text{poder de cómputo}) - 0,014 \varepsilon_1(t-1) + \mu_1 t$$

En el último modelo se observa una vez más que el coeficiente del error es negativo y su valor absoluto es menor que 1, por lo que se puede aceptar que la relación a corto plazo tiende a la de largo plazo para los modelos de Monero.

Al comparar las elasticidades de corto y largo plazo se afirma que las variables Dow Jones y precio del petróleo WTI indican sub-reacción en el modelo a corto plazo, mientras que las variables precio de Bitcoin, Dow Jones Commodities y poder de cómputo de Monero sobre-reaccionan en el corto plazo. El precio de Bitcoin resultó estadísticamente significativo para la evaluación a corto plazo del precio de Monero.

Se revisan las propiedades de los errores de la regresión a través de pruebas de correlación y homogeneidad, y después de aplicar las correcciones correspondientes al modelo se puede afirmar que la ecuación de corto plazo está especificada en forma correcta.

A manera de resumir lo observado en esta prueba de cointegración, la prueba Engle y Granger nos ha permitido realizar un estudio del precio de las criptoactivos en el corto y largo plazo. Los tres criptoactivos analizados presentan cointegración en sus modelos, es decir, sus grupos de datos se mueven juntos en un equilibrio a largo plazo.

En el caso de Bitcoin las variables Dow Jones y precio del oro son significativas tanto a corto como largo plazo, a largo también son significativas Dow Jones Commodities y precio del petróleo, mientras que red y poder de cómputo resultan significativas en el corto plazo. Para el criptoactivo

Ethereum destacan las variables precio de Bitcoin y precio de Dow Jones que son significativas tanto a corto como a largo plazo. Mientras que para la altcoin Monero solo la variable precio de Bitcoin es significativa tanto a corto como a largo plazo.

4.4 Modelos de Vector Autorregresivo

Ahora bien, evaluadas las elasticidades se estima pertinente avanzar en el análisis para lograr una mejor comprensión sobre el tipo de relación que existe entre las variables y las dinámicas de precio de los criptoactivos.

Por ello, se procede a realizar un modelo VAR el cual se considera una herramienta útil para el análisis empírico de las series de tiempo económicas gracias a que parte de un enfoque ateorico y es “capaz de separar los efectos pasados que explican que explican al vector de las variables endógenas a través de su pasado o mediante variables autorregresivas”. (Quintana & Mendoza, 2016, pág. 246)

Este apartado contiene los resultados de la estimación del Modelo de Vector Autorregresivo VAR (1) para cada criptoactivo. Primero se presentan los modelos utilizados en cada caso y después se presentan los resultados de las pruebas de Portmanteau, de normalidad, de heterocedasticidad, la causalidad de Granger y el análisis impulso-respuesta. Se tomará en cuenta la siguiente notación:

$Y1 = \Delta \text{Ln}(\text{precio de Bitcoin})$ $Y2 = \Delta \text{Ln}(\text{precio de Ethereum})$ $Y3 = \Delta \text{Ln}(\text{precio de Litecoin})$
 $Y4 = \Delta \text{Ln}(\text{precio de Monero})$ $X1 = \Delta \text{Ln}(\text{precio de Dow Jones})$ $X2 = \Delta \text{Ln}(\text{precio de Dow Jones})$
 $X3 = \Delta \text{Ln}(\text{precio de Dow Jones Commodities})$ $X4 = \Delta \text{Ln}(\text{precio del oro})$ $X5 = \Delta \text{Ln}(\text{precio del petróleo WTI})$ $X6 = \Delta \text{Ln}(VIX)$ $Z1 = \text{red}$ $Z2 = \Delta \text{Ln}(\text{poder de cómputo})$ $Z3 = \text{volumen}$ $Z4 = \text{poder de cómputo}$

- **VAR (1): Bitcoin**

$$y_{1t} = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i y_{1t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j x_{1t-j} + \sum_{m=1}^k \varphi_m x_{2t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n x_{3t-n} + \sum_{p=1}^k \omega_p x_{4t-p} + \sum_{p=1}^k \Psi_p x_{5t-p} + \sum_{q=1}^k \zeta_q z_{1t-q} + \sum_{q=1}^k \rho_q z_{4t-q} + \sum_{q=1}^k \theta_q z_{3t-q} + u_{1t}$$

$$Z3_t = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i Y1_{t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j X1_{t-j} + \sum_{m=1}^k \varphi_m X2_{t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n X3_{t-n} + \sum_{p=1}^k \omega_p X4_{t-p} + \sum_{p=1}^k \Psi_p X5_{t-p} \\ + \sum_{q=1}^k \varsigma_q Z1_{t-q} + \sum_{q=1}^k \rho_q Z4_{t-q} + \sum_{q=1}^k \varrho_q Z3_{t-q} + u_{9t}$$

$$X4_t = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i Y2_{t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j Y1_{t-j} + \sum_{m=1}^k \varphi_m X2_{t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n X3_{t-n} + \sum_{p=1}^k \omega_p X4_{t-p} + \sum_{q=1}^k \varsigma_q Z1_{t-q} + u_{5t}$$

$$Z1_t = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i Y2_{t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j Y1_{t-j} + \sum_{m=1}^k \varphi_m X2_{t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n X3_{t-n} + \sum_{p=1}^k \omega_p X4_{t-p} + \sum_{q=1}^k \varsigma_q Z1_{t-q} + u_{6t}$$

- **VAR (1): Litecoin**

$$Y3_t = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i Y3_{t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j Y1_{t-j} + \sum_{p=1}^k \omega_p X1_{t-p} + \sum_{m=1}^k \varphi_m X2_{t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n X3_{t-n} + \sum_{q=1}^k \varsigma_q Z1_{t-q} + u_{1t}$$

$$Y1_t = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i Y3_{t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j Y1_{t-j} + \sum_{p=1}^k \omega_p X1_{t-p} + \sum_{m=1}^k \varphi_m X2_{t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n X3_{t-n} + \sum_{q=1}^k \varsigma_q Z1_{t-q} + u_{2t}$$

$$X1_t = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i Y3_{t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j Y1_{t-j} + \sum_{p=1}^k \omega_p X1_{t-p} + \sum_{m=1}^k \varphi_m X2_{t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n X3_{t-n} + \sum_{q=1}^k \varsigma_q Z1_{t-q} + u_{3t}$$

$$X2_t = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i Y3_{t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j Y1_{t-j} + \sum_{p=1}^k \omega_p X1_{t-p} + \sum_{m=1}^k \varphi_m X2_{t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n X3_{t-n} + \sum_{q=1}^k \varsigma_q Z1_{t-q} + u_{4t}$$

$$X3_t = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i Y3_{t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j Y1_{t-j} + \sum_{p=1}^k \omega_p X1_{t-p} + \sum_{m=1}^k \varphi_m X2_{t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n X3_{t-n} + \sum_{q=1}^k \varsigma_q Z1_{t-q} + u_{5t}$$

$$Z1_t = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i Y3_{t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j Y1_{t-j} + \sum_{p=1}^k \omega_p X1_{t-p} + \sum_{m=1}^k \varphi_m X2_{t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n X3_{t-n} + \sum_{q=1}^k \varsigma_q Z1_{t-q} + u_{6t}$$

- **VAR (1): Monero**

$$Y4_t = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i Y4_{t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j Y1_{t-j} + \sum_{m=1}^k \varphi_m X2_{t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n X3_{t-n} + \sum_{p=1}^k \omega_p X4_{t-p} + \sum_{q=1}^k \varsigma_q Z1_{t-q} + u_{1t}$$

$$Y1_t = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i Y4_{t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j Y1_{t-j} + \sum_{m=1}^k \varphi_m X2_{t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n X3_{t-n} + \sum_{p=1}^k \omega_p X4_{t-p} + \sum_{q=1}^k \varsigma_q Z1_{t-q} + u_{2t}$$

$$X2_t = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i Y4_{t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j Y1_{t-j} + \sum_{m=1}^k \varphi_m X2_{t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n X3_{t-n} + \sum_{p=1}^k \omega_p X4_{t-p} + \sum_{q=1}^k \varsigma_q Z1_{t-q} + u_{3t}$$

$$X3_t = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i Y4_{t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j Y1_{t-j} + \sum_{m=1}^k \varphi_m X2_{t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n X3_{t-n} + \sum_{p=1}^k \omega_p X4_{t-p} + \sum_{q=1}^k \varsigma_q Z1_{t-q} + u_{4t}$$

$$X4_t = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i Y4_{t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j Y1_{t-j} + \sum_{m=1}^k \varphi_m X2_{t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n X3_{t-n} + \sum_{p=1}^k \omega_p X4_{t-p} + \sum_{q=1}^k \varsigma_q Z1_{t-q} + u_{5t}$$

$$Z1_t = \sigma + \sum_{i=1}^k \beta_i Y4_{t-i} + \sum_{j=1}^k \phi_j Y1_{t-j} + \sum_{m=1}^k \varphi_m X2_{t-m} + \sum_{n=1}^k \psi_n X3_{t-n} + \sum_{p=1}^k \omega_p X4_{t-p} + \sum_{q=1}^k \varsigma_q Z1_{t-q} + u_{6t}$$

4.4.1 Prueba de Autocorrelación

Al regresar los modelos a una forma VAR (1), se procede a realizar la prueba de Portmanteau, en la cual se analiza la **falta de una correlación serial entre los residuos** del modelo, siendo los resultados:

Tabla 11: Prueba de Autocorrelación

PT	Bitcoin	Ethereum	Litecoin	Monero
chi-squared	1607,8	564,9	581,02	694,41
df	1143	510	510	510
p-value	< 2,2e-16	0,04631	0,01582	9,126e-08

Fuente: *Elaboración propia*

Ante los p-valor obtenidos, en los casos de **Bitcoin y Monero no se puede aceptar la hipótesis nula** de no correlación serial de los residuos, ya que estos valores son significativamente menores que el nivel de significancia 0,05. Para el modelo de **Ethereum** se acepta la hipótesis nula con un nivel de confianza de 5%, y para Litecoin se acepta con un 1% de confianza, es decir, que en los sets de datos de Ethereum y Litecoin no existe correlación serial entre residuos.

Los modelos en los que no se aceptó la hipótesis nula muestran un comportamiento esperado para series de tiempo financieras, “este tipo de pruebas pueden rechazar de manera incorrecta la hipótesis nula de no-correlación cuando hay volatilidad en la data” (Warriyar, Abraham, & Mulayath, 2016)

4.4.2 Prueba de Normalidad

Para estudiar la distribución de los datos en el modelo, se aplica la prueba Jarque-Bera que está acompañada por las pruebas de Skewness y Kurtosis. La siguiente tabla muestra los resultados de Jarque-Bera para cada modelo analizado:

Tabla 12: Prueba de Normalidad

JB	Bitcoin	Ethereum	Litecoin	Monero
Chi-squared	2109735	30486	28674287	37697
df	18	12	12	12
p-value	< 2,2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16

Fuente: *Elaboración propia*

Al observar los resultados se rechaza la hipótesis nula de una distribución normal de la data, cada modelo presenta un p-valor muy pequeño, lejos del 0,05 de confianza, y un valor chi-squared muy grande. Lo anterior era de esperarse, por la naturaleza de nuestras series de tiempo, como se estableció en el capítulo III: **los retornos financieros no están normalmente distribuidos**.

Esto último también es verdad para los criptoactivos, el trabajo de investigación “Evaluación de la efectividad del método GARCH-EVT-COPULAS para el cálculo de VaR como medida de riesgo en mercados de criptomonedas”, establece que “Para todos los pares de criptomonedas estudiados fue notoria la no normalidad en sus distribuciones, todo esto en base al gráfico de cuartiles de cada uno ellos (...). En dichos gráficos se reflejaron un quiebre en los extremos de la recta, significando esto la presencia de colas pesadas” (Paredes, 2018).

4.4.3 Prueba de Heterocedasticidad

Al realizar la prueba de ARCH para cada criptoactivo, se busca determinar si las series son heterocedásticas. Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 13: Prueba de Heterocedasticidad

ARCH	Bitcoin	Ethereum	Litecoin	Monero
Chi-squared	20109	5360	5874	7371,5
Df	10125	2205	2205	2205
p-value	< 2,2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16	< 2.2e-16

Fuente: *Elaboración propia*

Con base a estos resultados se rechaza la hipótesis nula de homocedasticidad, ello en concordancia con la teoría de Engle donde se afirma que respecto a las variables financieras debe considerarse que las mismas presentan características propias con comportamientos volátiles y no estacionarios.

4.4.4 Prueba de Causalidad de Granger

Aplicando la prueba de causalidad de Granger se determina que, para el modelo aplicado al set de datos de **Bitcoin**, los precios del índice Dow Jones causan en sentido Granger al precio de Bitcoin, mientras no se puede afirmar el caso contrario. La variable poder de cómputo no causa en sentido de Granger al precio de BTC, sin embargo, el precio sí causa al poder de cómputo empleado. El precio de BTC y la variable Red se causan mutuamente en sentido de Granger. El índice de volatilidad (VIX) causa el precio de BTC y por último se afirma que el precio causa en sentido Granger al volumen de este criptoactivo.

En el caso del modelo realizado para los datos de **Ethereum**, se observa que su precio está causado en sentido Granger por el retorno de Bitcoin, también se aprecia que el precio ETH causa en sentido Granger al poder de cómputo. Para el criptoactivo **Monero** se aprecia que su precio es causado por el precio de Bitcoin y a su vez su precio causa su poder de cómputo. Al realizar la prueba de causalidad de Granger a **Litecoin** y sus variables explicativas no se obtienen resultados concluyentes, se afirma que no existen relaciones de causalidad para este criptoactivo.

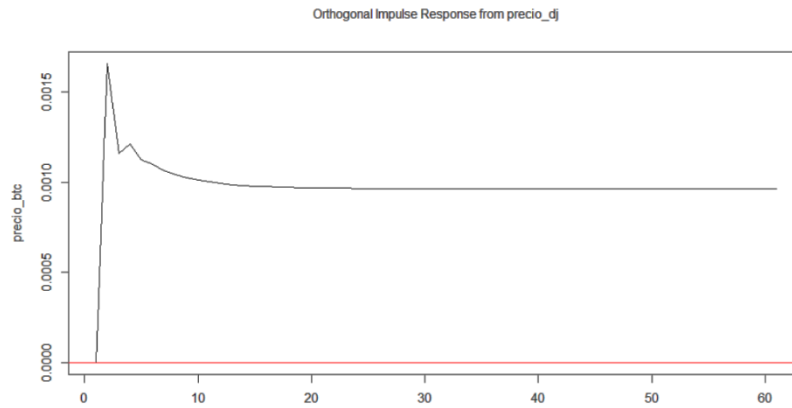
4.4.5 Análisis Impulso – Respuesta

i. Bitcoin

De acuerdo a lo observado en la causalidad de Granger, se procede a realizar un análisis de impulso-respuesta en el cual se evalúa la manera en la que un choque positivo en la variable índice de Dow Jones afecta al precio de Bitcoin.

En la siguiente gráfica se presenta un horizonte de pronóstico de 60 días, se observa que la respuesta del precio BTC es positiva en el total del horizonte temporal, a partir del día 2 se aprecia un aumento sostenido de 0,0010%.

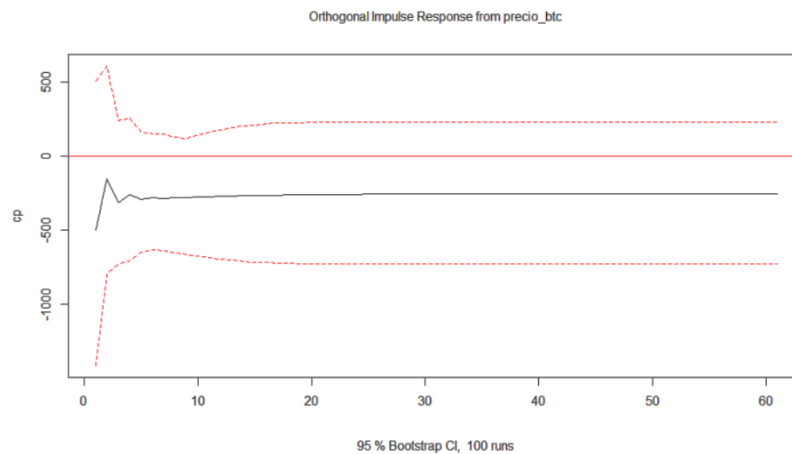
Gráfica 5: Impulso respuesta de BTC respecto al índice DJ



Fuente: *Elaboración propia*

Al evaluar la respuesta de la variable “poder de cómputo” ante un choque positivo en la variable precio de Bitcoin se aprecia una reacción negativa de los niveles de poder de cómputo durante todo el horizonte temporal.

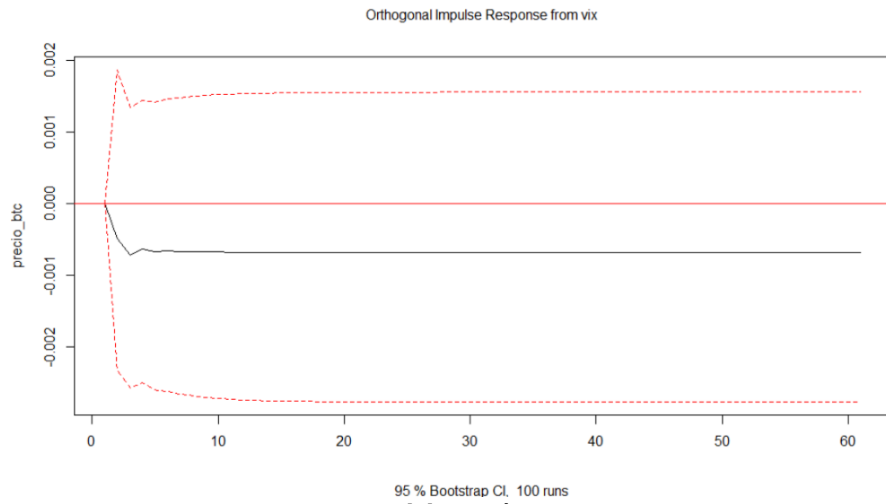
Gráfica 6: Impulso respuesta de CP respecto al precio de BTC



Fuente: *Elaboración propia*

Se puede observar que el índice de volatilidad (VIX) tiene un efecto negativo sobre el precio de BTC durante la totalidad del horizonte temporal. La reacción se estabiliza a partir del día 5 de estudio, en un nivel de 0,0008%.

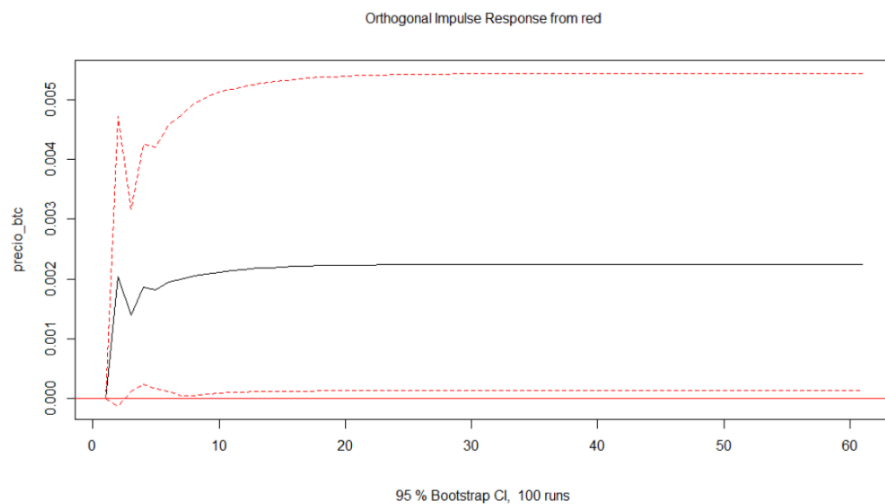
Gráfica 7: Impulso respuesta de precio de BTC respecto a VIX



Fuente: *Elaboración propia*

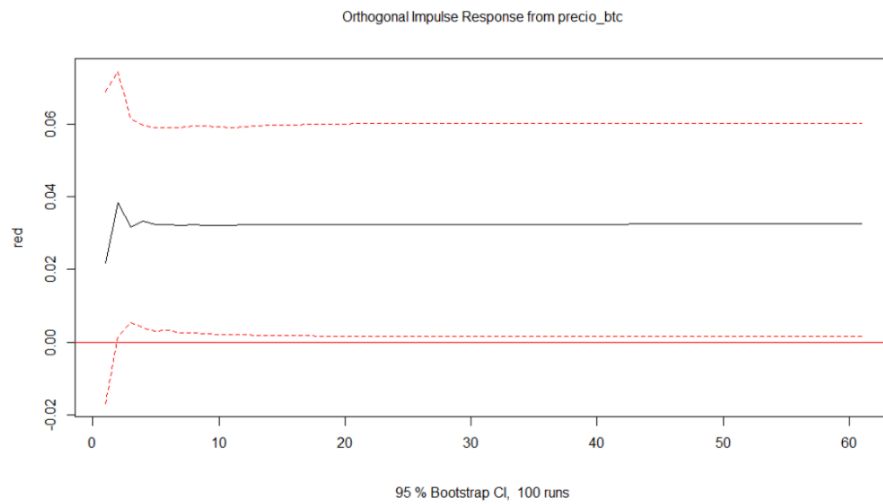
Según los análisis impulso-respuesta, los efectos que tienen las variables precio de Bitcoin y Red entre ellos son positivos durante la totalidad del horizonte temporal.

Gráfica 8: Impulso respuesta de precio de BTC respecto a Red



Fuente: *Elaboración propia*

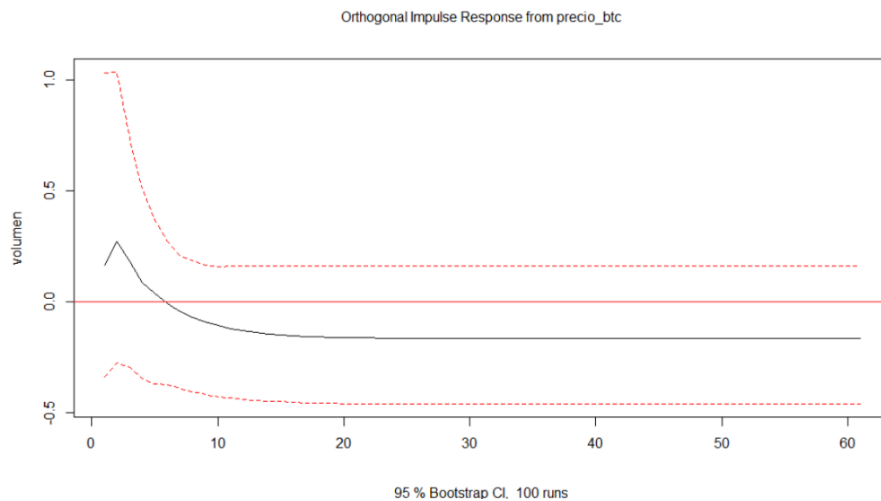
Gráfica 9: Impulso respuesta de Red respecto a precio de BTC



Fuente: *Elaboración propia*

Analizando la reacción del volumen de Bitcoin ante un aumento de 1% en el precio de este criptoactivo, se observa que en los primeros tres días hay un aumento del volumen, sin embargo, desde el día 5 de estudio y durante el resto del horizonte de pronóstico el efecto del precio es negativo sobre el volumen.

Gráfica 10: Impulso respuesta de Volumen respecto al precio de BTC



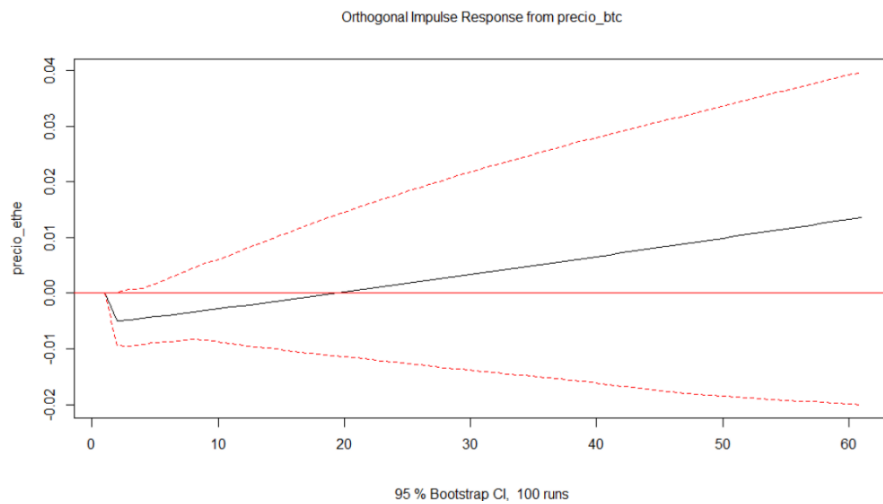
Fuente: *Elaboración propia*

ii. Ethereum

A continuación, se aplica la prueba impulso-respuesta a este cryptoactivo, utilizando un horizonte temporal de 60 días. Se analiza cómo el precio de Bitcoin afecta al precio de Ethereum y la manera en la que el precio de Ethereum afecta el nivel de poder de cómputo.

En el primer caso, la gráfica muestra una respuesta positiva a partir del día 20, después de ese día aumenta el precio de ETH hasta un 0,015% en el día 60 de estudio, a partir un choque positivo de 1% al precio de BTC en el día 0.

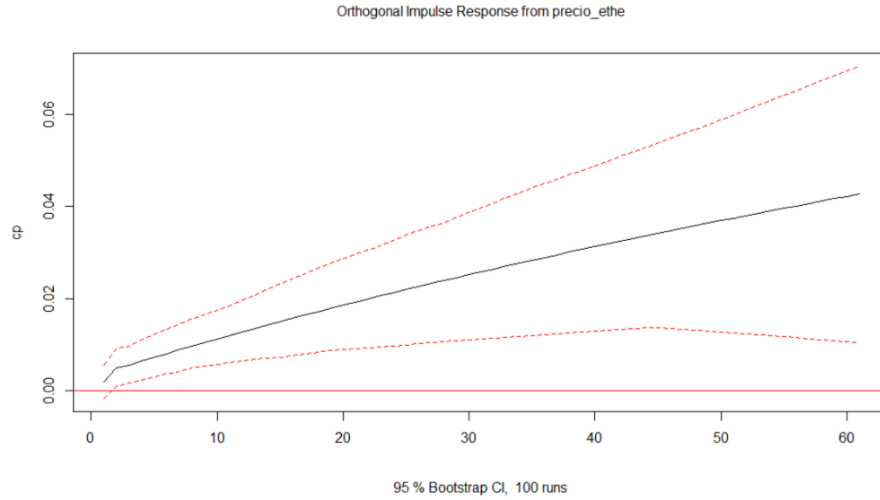
Gráfica 11: Impulso respuesta de precio de ETH respecto al precio de BTC



Fuente: *Elaboración propia*

En la siguiente gráfica se muestra el efecto de un choque positivo al precio de ETH sobre su poder de cómputo, se puede apreciar una respuesta positiva por parte de esta última variable a partir del primer día y que se mantiene el resto del horizonte temporal.

Gráfica 12: Impulso respuesta de CP respecto a precio de ETH

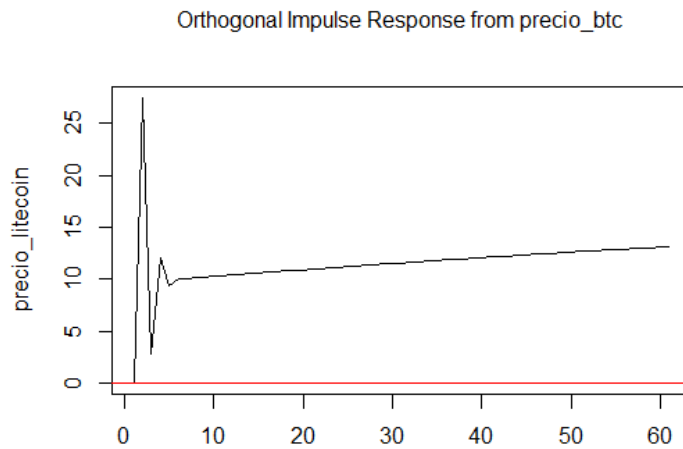


Fuente: *Elaboración propia*

iii. Litecoin

A pesar de la falta de causalidad en sentido Granger entre el precio de este criptoactivo y sus variables explicativas, se decide evaluar el impulso-respuesta con el precio de BTC, ante un aumento de 1% en el precio de BTC se observa un aumento del precio de LTC durante todo el horizonte temporal, aumentando los primeros días del choque hasta un 25% y asentándose en el día 60 en un aumento de 12%.

Gráfica 13: Impulso respuesta de precio de LTC respecto al precio de BTC

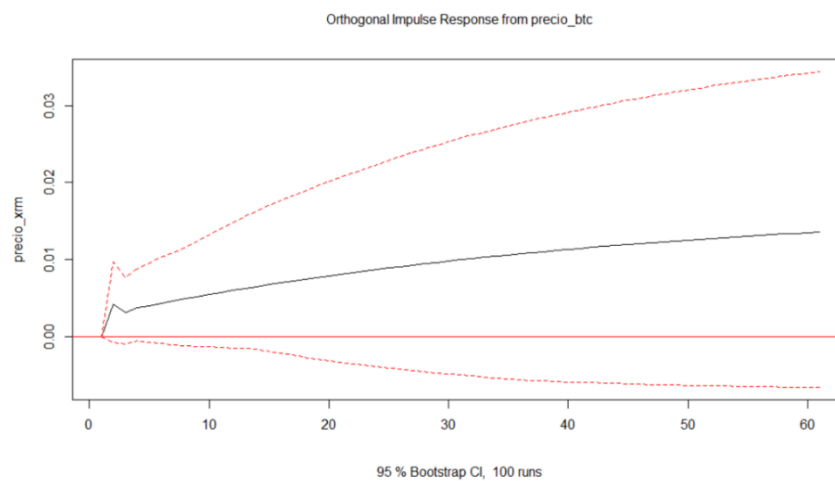


Fuente: *Elaboración propia*

iv. Monero

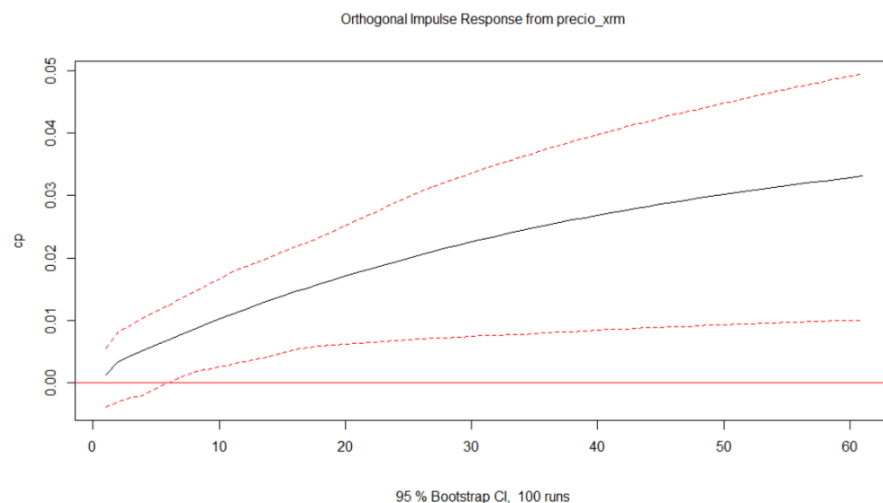
Los análisis impulso-respuesta de Monero muestran que en la primera gráfica donde se aprecia el efecto del precio de BTC sobre el precio de XMR hay un aumento de este último precio durante la totalidad del horizonte temporal. Lo mismo ocurre cuando se analiza el impacto que tiene el precio de XMR sobre el nivel de poder de cómputo, hay un aumento de este último.

Gráfica 14: Impulso respuesta de precio de XRM respecto al precio de BTC



Fuente: *Elaboración propia*

Gráfica 15: Impulso respuesta de CP respecto a precio de XRM



Fuente: *Elaboración propia*

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de estudiar las variables relacionadas a la tecnología Blockchain: poder de cómputo y red; así como las relacionadas a mercados financieros: retorno del BTC, volumen, índice Dow Jones, índice Dow Jones Commodities, precio del oro, precio del petróleo WTI e índice de volatilidad (VIX); podemos concluir que para cada criptoactivo se encontró al menos una variable que tuvo influencia sobre su precio histórico.

Para los criptoactivos (exceptuando Litecoin) destacan tres resultados: los del modelo de Análisis de Componentes Principales, los resultados de corto y largo plazo estimados en Engle y Granger, y los valores estimados en el VAR (1). En primer lugar, se establecen las conclusiones para **Bitcoin**, en su ACP se observó que el precio de este criptoactivo tiene una fuerte correlación con las variables precio de **Dow Jones, red, poder de cómputo y precio del oro**, estas variables se destacan también por sus contribuciones al modelo y la calidad de representación que poseen en el mismo.

En cuanto al **estudio de las elasticidades y el precio de Bitcoin**, a largo plazo todas las variables (excepto el índice de volatilidad) resultaron significativas, lo que permite concluir que existe una relación a largo plazo entre el precio de Bitcoin y precio de Dow Jones, precio de Dow Jones Commodities, precio del oro y precio del petróleo. Los valores estimados para **Dow Jones y Dow Jones Commodities** destacan por su influencia sobre el precio en el largo plazo, mientras que en el corto plazo destacan Dow Jones, precio del oro, red y poder de cómputo por ser estadísticamente significativas.

El **modelo VAR (1)** ayuda a entender mejor el tipo de relación que existe entre las variables y el precio, en este se indica que las variables precio de **Dow Jones, índice de volatilidad y red** causan cada una en sentido Granger al precio de Bitcoin, red además es causada en sentido Granger por el precio de Bitcoin. Por otro lado, el precio de Bitcoin es el que causa en sentido de Granger al poder de cómputo, el volumen y también causa a la red; podemos afirmar que, contrario a lo que

afirman algunos trabajos en nuestros antecedentes, el poder de cómputo y volumen no son variables que expliquen con precisión al precio.

Los tres análisis realizados a Bitcoin presentan al precio de **Dow Jones** como la variable que tiene la influencia más significativa sobre este criptoactivo, en las estimaciones Dow Jones demuestra constantemente una relación positiva con Bitcoin. Estos resultados, contrarían aquellos trabajos que han considerado a este criptoactivo como “oro digital” y una herramienta para proteger inversores cuando los mercados financieros están bajo presión.

Otra variable relevante en los análisis fue **red** de BTC, su impacto sobre el precio destaca especialmente en el corto plazo. El impacto que tienen red y precio de Bitcoin entre sí es positivo en ambos casos y esto se puede apreciar tanto en ACP como en VAR (1). Con lo anterior, se comprueba lo esperado al empezar la investigación, es decir, un mayor nivel de adopción del criptoactivo resultará en un aumento de su precio y potencialmente en la atracción de otros entes económicos que mejoren la experiencia de poseer Bitcoin.

El trabajo de investigación procede con el estudio de **Ethereum**, su modelo ACP concluye que los datos presentes en las series de tiempo de **precio de Bitcoin, precio del petróleo WTI y Dow Jones Commodities** eran los que tenían mayor correlación con el precio de Ethereum, además de estar bien representados en el modelo y tener una contribución significativa al mismo.

Al evaluar la elasticidad de este segundo criptoactivo en el largo plazo se afirma que las variables precio de Bitcoin, precio Dow Jones, precio Dow Jones Commodities, precio del petróleo y poder de cómputo son estadísticamente significativas, por lo que se afirma la existencia de una relación en el largo plazo entre su precio y las variables mencionadas. Por el valor de sus elasticidades estimadas destacan: **precio de Bitcoin, Dow Jones y Dow Jones Commodities**, estas dos últimas representan un impacto negativo sobre el precio. En el corto plazo solo dos variables resultaron significativas: **precio de Bitcoin y Dow Jones**, ambas tienen un efecto positivo en el corto plazo.

Al estimar su modelo VAR, se concluye a través de la prueba de Granger que el **precio de Bitcoin** es la única variable que tiene influencia sobre el precio de ETH, el análisis impulso-respuesta ofrece mayor información sobre esta relación, en este se aprecia que los primeros 20 días el impacto del precio BTC es negativo, pero luego es positivo por el resto del horizonte temporal. Este último modelo también afirma que es el precio de Ethereum el que tiene influencia sobre su poder de cómputo y no en el sentido contrario como se esperaba al inicio de esta investigación.

Estos tres análisis tienen como resultado común que la variable **precio de Bitcoin** es la que tiene mayor influencia sobre el precio de Ethereum, en general la influencia de BTC sobre esta altcoin es positiva, estos resultados confirman que Bitcoin no es solo el criptoactivo más conocido y el que posee mayor capitalización en el mercado, sino que además su precio tiene una importante influencia sobre altcoins minables.

Continuamos con los resultados hallados en los análisis realizados al criptoactivo **Litecoin**, en el Análisis de Componentes Principales las variables que presentan mayor correlación con el precio de Litecoin son el **precio de Bitcoin**, **precio de petróleo WTI** y el **precio de Dow Jones Commodities**, estas destacan a su vez por estar bien representadas en el modelo y por sus contribuciones al mismo.

Debido a que su precio es estacionario I (0), no se realiza la prueba de cointegración Engle y Granger como a los demás criptoactivos. En su modelo VAR, se aprecia un impacto significativo del **precio de Bitcoin** sobre el precio de Litecoin gracias a la prueba impulso-respuesta. Se concluye con base a estos dos análisis que el comportamiento de los precios de Litecoin está relacionado a los precios de BTC, en ambos modelos presenta una relación positiva.

Lo observado en **Monero** se resume en que su ACP indica que existe una fuerte correlación con las variables **precio de Bitcoin**, **Dow Jones Commodities**, **Dow Jones** y **precio del petróleo WTI**. Al analizar sus elasticidades a corto y largo plazo se determina que el precio de XMR está relacionado significativamente a largo plazo con las variables precio de Bitcoin, Dow Jones, Dow Jones Commodities, precio del petróleo y poder de cómputo. En el corto plazo el valor que destaca es el de **precio de BTC** que además es el único estadísticamente significativo. Al estimar su modelo

VAR se confirma gracias a la prueba de causalidad de Granger **la relación entre el precio XMR y el precio de Bitcoin**, afirmando que este último causa en sentido Granger al primero, al igual que en el caso de Ethereum. Al realizar el análisis impulso-respuesta se aprecia que el impacto de Bitcoin es positivo en todo momento del estudio.

Este trabajo de grado se realizó con el propósito de analizar el comportamiento del precio de los criptoactivos mencionados y para ello se emplearon diez variables (dos tecnológicas y ocho financieras). Podemos concluir (con base a los modelos empleados y a los datos con los que se contaba en el momento) que a pesar de lo novedoso del mercado de los criptoactivos y la alta volatilidad que tienden a presentar sus precios, sí existen variables que ayudan a explicar el comportamiento de los mismos, siendo para Bitcoin: el índice Dow Jones y su propia red, y para las altcoins minables de este estudio: el precio de Bitcoin.

Para finalizar, se recomienda volver a confirmar estos resultados cuando se posea mayor cantidad de datos sobre cada uno de los criptoactivos ya que, al tratarse de un tema de estudio muy reciente, se reconoce que este trabajo está sujeto a variaciones en el tiempo. A su vez, se recomienda estudiar un mayor número de criptoactivos utilizando el Análisis de Componentes Principales, ya que este método permite trabajar con grandes cantidades de individuos y sería interesante conocer las relaciones entre estas variables con un mayor número de criptoactivos. Por último, se recomienda realizar un estudio similar al de este trabajo, pero separando las series de tiempo en épocas de mercado.

REFERENCIAS

- Academy2. (7 de mayo de 2020). *¿Qué son las altcoins y qué ofrecen al ecosistema de criptomonedas?* Obtenido de Academy bit2me: <https://academy.bit2me.com>
- Alaminos, A., Francés, F., Penalva, C., & Santacreu, Ó. (2015). *Análisis multivariante para las Ciencias Sociales I*. Quito: PYDLOS Ediciones.
- Amate, K. (2018). *MODELOS ARCH Y GARCH: Aplicación a series financieras*. Barcelona: Facultad de Matemáticas e Informática.
- Arias, F. (2006). *El Proyecto de investigación: introducción a la metodología científica*. Caracas: Editorial Episterre.
- Bavaresco, A. (2006). *El proceso metodológico en la investigación*. Maracaibo: Universidad del Zulia.
- BBVA Research. (2018). *Monedas Digitales Emitidas por Bancos Centrales*.
- Bhambhwani, Delikouras, & Korniotis. (2019). *¿Los fundamentos impulsan los precios de las criptomonedas?* Miami: Universidad de Miami.
- Binance academy. (12 de Septiembre de 2017). *Blockchain*. Obtenido de Binance Academy: <https://academy.binance.com/>
- Bouri, Gupta, Lahiani, & Shahbaz. (2018). 2.1.6 Prueba de las relaciones asimétricas no—lineales a corto y largo plazo entre Bitcoin, commodities agregados y precios del oro. En Bouri, & Elie, *Política de Recursos* (págs. 224-235). Jounieh: Elsevier.
- Buraschi, & Pagnotta. (2018). *Valoración de equilibrio de Bitcoin y activos de red descentralizados*. Londres: Imperial College of London.
- Caballero, J. L. (11 de Mayo de 2012). *ABC de los commodities: El Economista*. Obtenido de El Economista: <https://www.eleconomista.com.mx/mercados/ABC-de-los-commodities-20120511-0061.html>
- Charemza, W., & Deadman, D. (1997). *New Directions in Econometric Practice*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, Inc.
- Chiu, J., & Koepl, T. (2017). *La economía de las criptomonedas*. Kingston: Queen's University.
- CoinMarketCap. (Febrero de 2020). Obtenido de <https://coinmarketcap.com/charts/>
- Dinenzon, M; Josyula, V; Moreno, J; Dippelsman, R; Razin, T. (2018). *Treatment of Crypto Assets in Macroeconomic*. International Monetary Fund.
- Donohue, B. (10 de Abril de 2014). *Datos: Kaspersky daily*. Obtenido de Kaspersky daily: <https://latam.kaspersky.com/>

- Engle, R., & Granger, C. (1987). Cointegración y corrección de errores: representación, estimación y prueba. *Econométrica*, 55, 251-275.
- Fondo Monetario Internacional. (2018). *Tratamiento de los Criptoactivos en la Estadística Macroeconómica*. Washington: FMI.
- Gandal, N., & Halaburda, H. (27 de Junio de 2016). *¿Podemos predecir el ganador en un mercado con red? Competencia en el mercado de criptomonedas*. Obtenido de Poseidon: <https://poseidon01.ssrn.com/>
- Glosario Alicante. (25 de enero de 2018). *Glosario criptomoneda*. Obtenido de Glosarios: <https://glosarios.servidor-alicante.com>
- Hong, E. (05 de Febrero de 2020). *¿Cómo funciona la minería de Bitcoin?* Obtenido de Investopedia: <https://www.investopedia.com/tech/how-does-bitcoin-mining-work/>
- Jiménez, A., Murillo, A., Piza, E., Villalobos, J., & Trejos, J. (2010). *Reducción de la Dimensionalidad en Análisis de Datos. Análisis de Componentes Principales*. Guanajuato: Centro de Investigación en Matemáticas A.C.
- Jolliffe, I. (2002). *Principal Component Analysis* (Segunda ed.). Aberdeen: Springer.
- Justa de Estabilidad Financiera. (2019). *Criptoactivos: Trabajo en marcha, enfoques regulatorios y posibles brechas*. Londres: Financial Stability Board.
- Kassambara, A. (23 de Septiembre de 2017). *STHDA* . Obtenido de Métodos de componentes principales en R: Guía práctica: <http://www.sthda.com/english/articles/31-principal-component-methods-in-r-practical-guide/112-pca-principal-component-analysis-essentials/>
- Korhonen, A. (2019). *Criptoactivos: conductores de valor y precio de una nueva clase de activos*. Finlandia: University of Eastern Finland.
- Leal, A. (10 de 12 de 2019). *Comunidad: Criptonoticias*. Obtenido de Criptonoticias: <https://www.criptonoticias.com/comunidad/hace-9-anos-satoshi-nakamoto-ultimo-mensaje-bitcointalk/>
- León, A., Lilnás, H., & Tilando, J. (05 de 02 de 2008). *Análisis multivariado aplicando componentes principales al caso de los desplazados*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612008000100010#1
- Montes de Oca, J. (s.f.). *Dow Jones: Economipedia*. Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/dow-jones.html>
- Mougayar, W. (7 de Julio de 2017). *Comunicaciones: BBVA*. Obtenido de BBVA: <https://www.bbva.com>

- Paredes, M. (2018). *Evaluación de la efectividad del método GARCH-EVT-COPULAS para el cálculo de VaR como medida de riesgo en mercados de criptomonedas*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Peña, D. (2002). *Análisis de datos multivariados*. Madrid: Mac Graw Hill.
- Pérez, C. (2004). *Técnicas de análisis multivariante de datos. Aplicaciones con SPSS*. Madrid: Pearson.
- Pfaff, B. (2008). *Analysis of Integrated and Cointegrated Time Series with R*. Kronberg: Springer.
- Quintana, L., & Mendoza, M. (2016). *Econometría aplicada utilizando R*. Ciudad de México: Facultad de Estudios Superiores Acatlán .
- Rao, T. S., Rao, S. S., & Rao, C. (2012). *Time Series Analysis: Methods and Applications*. Amsterdam: Elsevier.
- Rogers, D. (2016). *The Digital Transformation Playbook: Rethink Your Business for the Digital Age*. Nueva York: Columbia Business School.
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: Editorial McGraw Hill.
- Sánchez Méndez, J. (2018). *Relación de largo plazo entre el BitCoin, los indicadores de bolsa y los principales commodities a nivel mundial: un análisis de series de tiempo 2012 – 2018*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Satoshi Nakamoto. (31 de 10 de 2008). *Cryptography Mailing List*. Obtenido de Bitcoin.org: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. Nueva York: Foro Económico Mundial.
- Tar, A. (11 de Diciembre de 2019). *¿Qué es Prueba de trabajo o Proof of Work (PoW)?* Obtenido de Cointelegraph: <https://es.cointelegraph.com/>
- van Wijk, D. (2013). *¿Qué se puede esperar del Bitcoin?* Róterdam: Universidad de Rotterdam.
- Warriyar, V., Abraham, B., & Mulayath, A. (2016). *Robustness of Some Portmanteau Correlation Tests in Financial Time Series*. American Journal of Mathematical and Management Sciences.

ANEXOS

Anexo A. Análisis de Componentes Principales

Anexo A.1 Valores propios y varianza acumulada

Tabla # 1. Bitcoin

	eigenvalue	variance.percent	cumulative.variance.percent
Dim.1	5.01621063	55.7356737	55.73567
Dim.2	1.37944858	15.3272064	71.06288
Dim.3	0.99598428	11.0664919	82.12937
Dim.4	0.65484559	7.2760621	89.40543
Dim.5	0.52078542	5.7865047	95.19194
Dim.6	0.19375823	2.1528692	97.34481
Dim.7	0.15349248	1.7054720	99.05028
Dim.8	0.06259338	0.6954821	99.74576
Dim.9	0.02288140	0.2542378	100.00000

Tabla # 2. Ethereum

	Eigenvalue	variance.percent	cumulative.variance.percent
Dim.1	4.92788322	54.7542579	54.75426
Dim.2	1.81756465	20.1951628	74.94942
Dim.3	0.80698097	8.9664552	83.91588
Dim.4	0.73746777	8.1940863	92.10996
Dim.5	0.31553389	3.5059321	95.61589
Dim.6	0.15427385	1.7141539	97.33005
Dim.7	0.11805348	1.3117053	98.64175
Dim.8	0.09285035	1.0316706	99.67342
Dim.9	0.02939182	0.3265758	100.00000

Tabla # 3. Litecoin

	eigenvalue	variance.percent	cumulative.variance.percent
Dim.1	4.27801788	53.472235	53.472235
Dim.2	1.60443717	20.0554647	73.53069
Dim.3	0.99561438	12.4451798	85.97587
Dim.4	0.43938283	5.4922853	91.46815
Dim.5	0.27761758	3.4702198	94.93837
Dim.6	0.21293628	2.6617035	97.60008
Dim.7	0.11811690	1.4764612	99.07654
Dim.8	0.07387698	0.9234623	100.00000

Tabla # 4. Monero

	eigenvalue	variance.percent	cumulative.variance.percent
Dim.1	5.30777204	58.9752449	58.97524
Dim.2	1.45574989	16.1749988	75.15024
Dim.3	1.01717782	11.3019758	86.45222
Dim.4	0.52811710	5.8679677	92.32019
Dim.5	0.36253185	4.0281317	96.34832
Dim.6	0.17420194	1.9355772	98.28390
Dim.7	0.07540015	0.8377795	99.12168
Dim.8	0.05513335	0.6125927	99.73427
Dim.9	0.02391585	0.2657317	100.00000

Anexo A. 2 Contribuciones

Tabla # 5. Bitcoin

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7	Dim.8	Dim.9
price_btc	16.129	0.15900	2.048911	0.001833	10.6744	19.677	47.727	1.241786	2.3390
	686	277	e+00	395	6888	3281	9167	544	664
vol_btc	2.8182	0.02696	7.076919	22.33852	0.20354	1.2297	2.3405	0.075856	0.1973
	06	719	e+01	5105	432	526	615	672	954
price_djc	15.725	6.40173	6.891371	10.41866	0.01053	16.829	1.9815	17.93156	30.632
	850	299	e-02	9680	640	0358	249	6221	1702

price_gold	10.778	14.1026	6.257996	0.697084	24.0785	26.241	12.779	2.212332	2.8518
	498	4123	e+00	074	3135	8516	2182	937	465
cp	13.573	12.0285	4.029538	0.159694	13.3190	24.115	15.713	8.057538	12.629
	414	3480	e-01	430	1730	7694	6826	720	3946
vix	0.1784	49.9640	7.043105	16.54855	22.3692	3.2253	0.3070	0.008854	0.3552
	69	5836	e+00	4248	7081	597	467	471	818
wti	10.511	17.2705	5.135568	24.11753	0.37434	0.2187	0.2166	32.86642	9.2887
	442	4388	e+00	5315	972	624	627	2255	138
adress_activ	11.283	0.02685	8.272782	25.69918	28.8873	5.4122	10.213	10.04505	0.1593
e_count	727	137	e+00	7847	1246	470	4537	8533	802
price_dj	19.000	0.01966	5.789307	0.018915	0.08296	3.0498	8.7199	27.56058	41.546
	708	742	e-04	906	877	934	329	3648	7511

Tabla # 6 Ethereum

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7	Dim.8	Dim.9
price_dj	17.6631	0.604769	7.47050	0.644459	0.76607	6.56712	2.420290e	0.09715	2.1750
	353	641	91	03	13	89	+01	898	392
price_djc	16.6052	3.471434	0.55825	3.699242	4.52657	22.9202	1.694973e	12.5887	41.983
	418	181	56	20	89	206	+01	2925	8723
vol_eth	5.25061	24.64394	0.68700	18.88659	44.4938	4.04523	9.414510e	0.71754	18.680
	24	8231	20	408	711	72	-01	746	5668
price_gold	4.55320	23.16693	17.1232	19.92000	12.8582	10.2232	7.635503e	4.37765	0.3337
	37	6117	649	959	184	942	+00	065	365
CP	17.8003	0.007037	3.40174	2.092723	3.53399	22.5661	7.430285e	29.8941	0.1419
	563	849	76	70	20	156	-05	5174	200
price_btc	16.1317	0.015950	0.39979	14.97057	7.20814	18.1911	6.638247e	34.3023	20.703
	991	136	02	795	46	899	+00	1051	8009
vix	0.85100	25.52578	57.5802	0.032364	7.09267	0.28525	2.248506e	5.76584	2.1419
	65	0896	559	18	62	23	-01	787	903
wti	12.1390	12.16074	0.51955	14.19707	4.43357	2.98745	4.227400e	0.09141	2.6419
	628	8905	55	107	85	32	+01	772	656

Tabla #7 Litecoin

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7	Dim.8
price_ltc	0.0759971	0.8270325	9,86E+	0.5081584	8,91E+	0.007408097	0.02881886	3,00E+
	7		07		02			01
price_dj	2.108.606.	11.059.96	1,41E+	0.4638969	3,11E+	0.000532649	3.022.348.6	4,39E+
	788	0	05		06		51	07
price_djc	1.772.702.	85.187.80	4,66E+	0.6135940	5,35E+	23.520.097.7	1.043.297.5	3,38E+
	836	7	01		06	61	99	07
vol_ltc	758.187.76	257.216.2	1,02E+	483.706.3	1,23E+	0.857558920	278.453.231	1,35E+
	1	56	06	29	07			06
price_gold	698.171.24	334.993.3	8,36E+	145.585.5	2,81E+	1.396.788.54	1.503.992.6	3,18E+
	4	94	04	19	07	2	20	05
cp	1.882.084.	22.725.55	3,66E+	0.2350973	1,19E+	69.528.041.7	0.17457229	7,77E+
	969	8	03		06	39		06

price_btc	1.666.508. 219	0.2470260	7,18E+ 04	325.271.7 36	4,96E+ 07	0.768622343	0.04545999	6,33E+ 04
wti	1.106.138. 466	278.076.4 40	1,31E+ 05	27.228.95 1	2,99E+ 05	3.920.949.94 9	4.127.022.7 86	1,28E+ 06

Tabla #8 Monero

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7	Dim.8	Dim.9
price_xrp	10.0590 189	9.6964457 93	7.595794 30	40.0362 983	3.4353762 61	7.4506 63	1.94256 96	14.745 680	5.038153 36
price_dj	17.1057 675	0.8145874 90	0.692966 56	2.73944 62	1.3413002 46	15.473 076	22.4311 504	1.7198 69	37.68183 591
price_djc	16.2949 881	1.8162563 84	1.082775 36	6.97768 93	0.0719876 54	18.524 339	28.3042 553	1.5463 40	25.38136 868
vol_xrp	4.22405 31	31.503300 297	13.22892 869	0.60146 08	49.200500 433	0.2897 38	0.33261 79	0.5712 78	0.048122 82
price_gold	7.81037 38	25.580821 051	2.510915 93	2.04630 34	41.879450 428	10.705 701	5.61231 02	3.4394 42	0.414682 23
cp	15.4672 815	0.0055109 83	6.816718 66	9.33667 54	0.0043714 28	21.034 268	4.13332 83	32.668 944	10.53290 200
price_btc	15.7497 874	0.0083427 69	1.551318 07	19.2349 332	0.1974962 38	10.803 834	5.20674 59	37.770 744	9.476798 32
vix	0.20308 54	19.235455 856	66.47977 357	3.27886 33	1.3877838 92	4.6405 84	0.69656 13	3.3673 24	0.710568 46
wti	13.0856 445	11.339279 377	0.040808 84	15.7483 301	2.4817334 20	11.077 795	31.3404 610	4.1703 79	10.71556 822

Anexo A.3 Variables

Tabla #9 Bitcoin

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7	Dim.8	Dim.9
price_btc	0,809099 028	0,002193 361	2,04E- 02	1,20E+ 01	5,56E+ 04	0,038126 443	0,073258 764	7,77E+ 02	5,35 E-04
vol_btc	0,141367 124	0,000371 999	7,05E- 01	1,46E+ 05	1,06E+ 03	0,002382 747	0,003592 586	4,75E+ 01	4,52 E-05
price_djc	0,788841 767	0,088308 615	6,86E+ 02	6,82E+ 04	5,49E+ 01	0,032607 642	0,003041 492	1,12E+ 04	7,01 E-03
price_gold	0,540672 147	0,194538 684	6,23E- 04	4,56E+ 03	1,25E+ 05	0,050845 748	0,019615 139	1,38E+ 03	6,53 E-04
cp	0,680871 061	0,165927 452	4,01E- 03	1,05E+ 03	6,94E+ 04	0,046726 288	0,024119 321	5,04E+ 03	2,09 E-03
vix	0,008952 381	0,689228 494	7,01E- 02	1,08E+ 05	1,16E+ 05	0,006249 4	0,000471 294	5,54E+ 00	8,13 E-05
wti	0,527276 081	0,238238 272	5,11E- 02	1,58E+ 05	1,95E+ 03	0,000423 87	0,000332 561	2,06E+ 04	2,13 E-03
adress_active_count	0,566015 513	0,000370 401	8,24E- 02	1,68E+ 05	1,50E+ 05	0,010486 674	0,015676 884	6,29E+ 03	3,65 E-05
price_dj	0,953115 532	0,000271 302	5,77E- 06	1,24E+ 02	4,32E+ 02	0,005909 42	0,013384 441	1,73E+ 04	9,51 E-03

Tabla #10 Ethereum

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7	Dim.8	Dim.9
price_eth	0.4437 846	0.189088 4128	0.09893 2793	0.188474 3301	0.04760 4185	0.018843 1746	1.337834 e-03	1.129542 e-02	6.392836 e-04
price_dj	0.8704 187	0.010992 0792	0.06028 5587	0.004752 6777	0.00241 7215	0.010131 3625	2.857236 e-02	9.021245 e-05	1.233982 e-02
price_djc	0.8182 869	0.063095 5606	0.00450 5016	0.027280 7190	0.01428 2891	0.035359 9063	2.000975 e-02	1.168868 e-02	5.490559 e-03
vol_eth	0.2587 440	0.447919 6919	0.00554 3976	0.139282 5444	0.14039 3244	0.006240 7431	1.111416 e-03	6.662454 e-04	9.809122 e-05
price_gold	0.2243 766	0.421074 0418	0.13818 1489	0.146903 6508	0.04057 2037	0.015771 8694	9.013976 e-03	4.064664 e-03	4.171287 e-05
cp	0.8771 808	0.000127 9175	0.02745 1456	0.015433 1628	0.01115 0942	0.034813 6149	8.771709 e-08	2.775683 e-02	6.085224 e-03
price_btc	0.7949 562	0.000289 9040	0.00322 6231	0.110403 1875	0.02274 4139	0.028064 2487	7.836682 e-03	3.184982 e-02	6.295700 e-04
vix	0.0419 366	0.463947 5708	0.46466 1706	0.000238 6754	0.02237 9797	0.000440 0697	2.654440 e-04	5.353610 e-03	7.765218 e-04
wti	0.5981 988	0.221029 4735	0.00419 2714	0.104698 8236	0.01398 9443	0.004608 8591	4.990593 e-02	8.488168 e-05	3.291034 e-03

Tabla #11 Litecoin

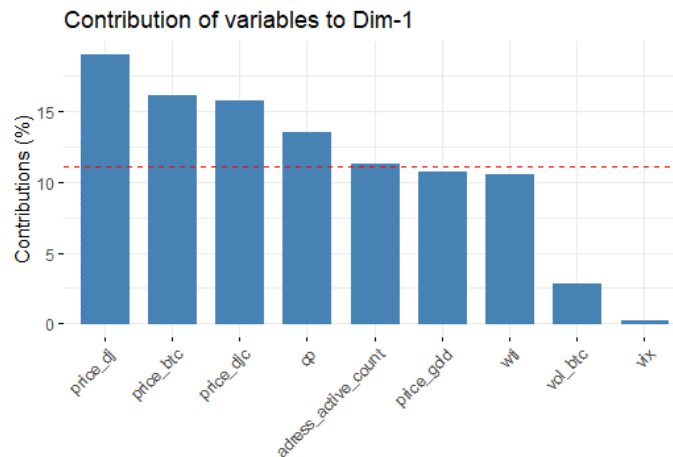
	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7	Dim.8
price_ltc	0.00325117 3	0.01326921 6	9,81E+0 5	0.00223276 1	2,47E+0 0	1,58E+0 1	3,40E+0 1	2,21E- 02
price_dj	0.90206575 3	0.01774501 1	1,40E+0 3	0.00203828 3	8,64E+0 3	1,13E+0 0	3,57E+0 4	3,24E+0 4
price_djc	0.75836544 2	0.13667848 4	4,64E- 01	0.00269602 6	1,49E+0 4	5,01E+0 4	1,23E+0 4	2,50E+0 4
vol_ltc	0.32435408 0	0.41268732 3	1,01E+0 4	0.21253225 4	3,42E+0 4	1,83E+0 3	3,29E+0 3	1,00E+0 3
price_gold	0.29867890 6	0.53747585 5	8,32E+0 2	0.06396777 7	7,81E+0 4	2,97E+0 3	1,78E+0 4	2,35E+0 2
cp	0.80515931 4	0.03646173 0	3,64E+0 1	0.00103297 7	3,31E+0 3	1,48E+0 5	2,06E+0 2	5,74E+0 3
price_btc	0.71293519 5	0.00396337 7	7,15E+0 2	0.14291881 5	1,38E+0 5	1,64E+0 3	5,37E+0 1	4,67E+0 1
wti	0.47320801 3	0.44615617 8	1,30E+0 3	0.01196393 3	8,29E+0 2	8,35E+0 3	4,87E+0 4	9,45E+0 3

Tabla #12 Monero

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7	Dim.8	Dim.9
price_xrp	0.5339 0979	1.41156 0e-01	0.077262 7352	0.21143 8536	1.24543 3e-02	0.012979 2006	0.001464 7005	0.008129 7869	1.20491 7e-03
price_dj	0.9079 3514	1.18583 6e-02	0.007048 7022	0.01446 7484	4.86264 1e-03	0.026954 4002	0.016913 1217	0.000948 2215	9.01193 2e-03
price_djc	0.8649 0082	2.64401 5e-02	0.011013 7508	0.03685 0370	2.60978 2e-04	0.032269 7593	0.021341 4518	0.000852 5489	6.07017 0e-03
vol_xrp	0.2242 0311	4.58609 3e-01	0.134561 7291	0.00317 6417	1.78367 5e-01	0.000504 7293	0.000250 7944	0.000314 9647	1.15089 8e-05
price_gold	0.4145 5683	3.72392 8e-01	0.025540 4801	0.01080 6878	1.51826 3e-01	0.018649 5399	0.004231 6905	0.001896 2793	9.91747 8e-05
cp	0.8209 6804	8.02261 3e-05	0.069338 1506	0.04930 8579	1.58478 2e-05	0.036642 1031	0.003116 5358	0.018011 4824	2.51903 3e-03
price_btc	0.8359 6281	1.21449 8e-04	0.015779 6634	0.10158 2971	7.15986 8e-04	0.018820 4896	0.003925 8943	0.020824 2752	2.26645 7e-03
vix	0.0107 7931	2.80020 1e-01	0.676217 5145	0.01731 6238	5.03115 9e-03	0.008083 9883	0.000525 2083	0.001856 5183	1.69938 5e-04
wti	0.6945 5618	1.65071 5e-01	0.000415 0985	0.08316 9623	8.99707 4e-03	0.019297 7345	0.023630 7555	0.002299 2698	2.56271 9e-03

Anexo A.4 Diagramas de contribución (Dimensiones 1 y 2)

Tabla #13 Bitcoin



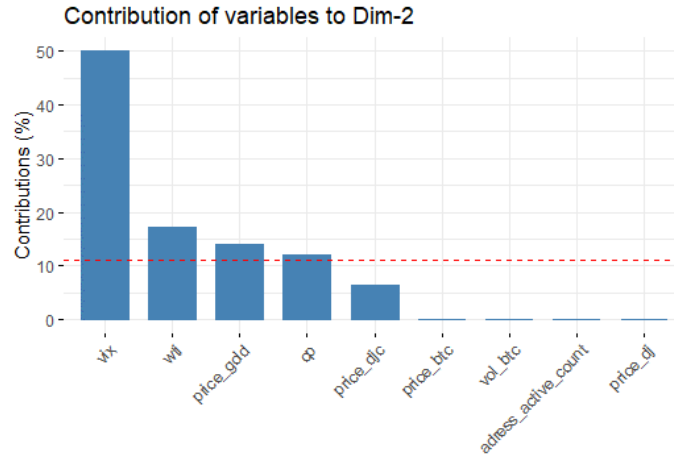


Tabla #14 Ethereum

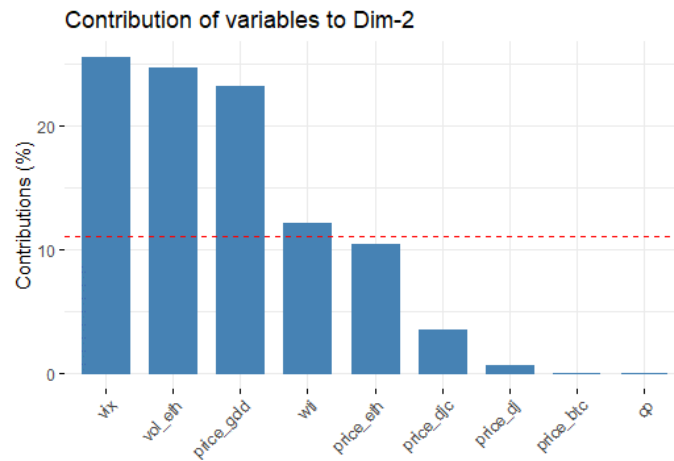
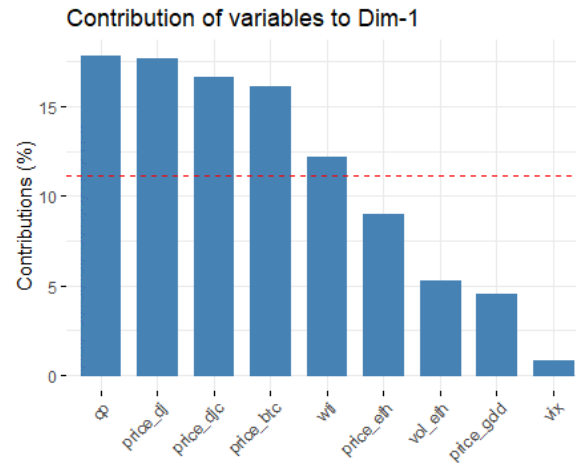


Tabla #15 Litecoin

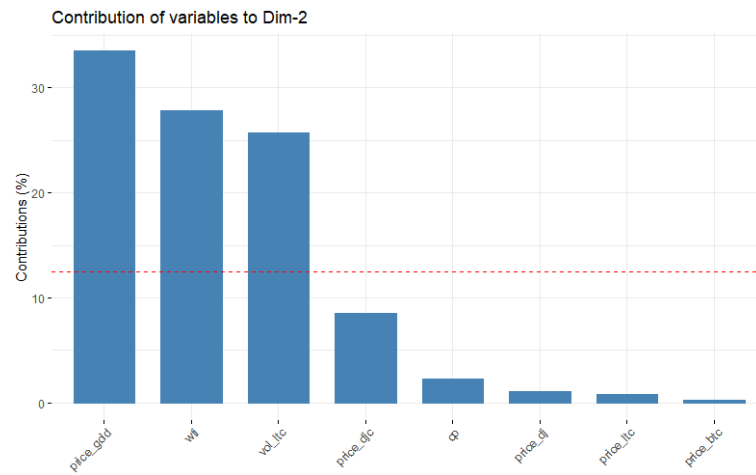
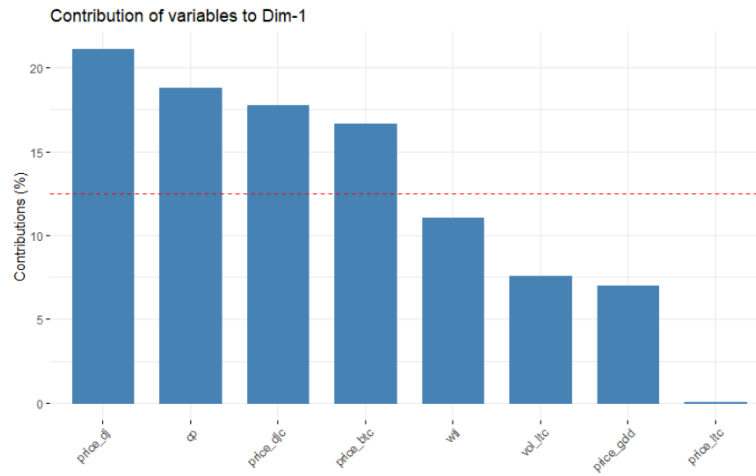
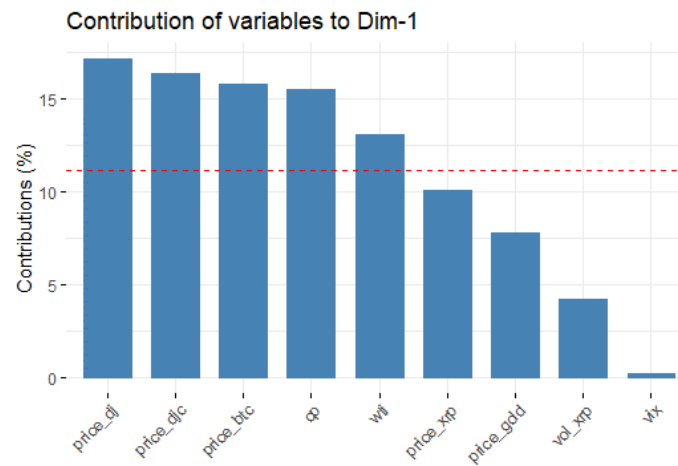
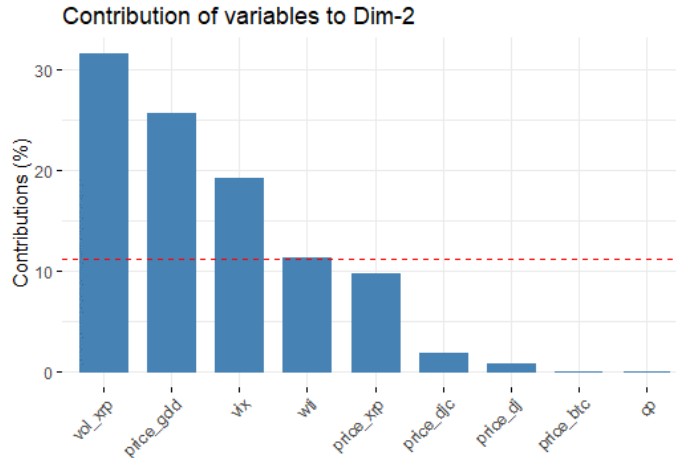


Tabla #16 Monero





Anexo B.

Anexo B.1 Prueba Dickey Fuller Aumentado

1.1. Precio de Dow Jones

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2619.05	-69.69	12.25	104.23	1566.04

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.710e+01	8.982e+01	0.190	0.849
z.lag.1	8.743e-05	5.690e-03	0.015	0.988
tt	-2.475e-02	5.810e-02	-0.426	0.670
z.diff.lag	-1.838e-01	2.918e-02	-6.298	4.12e-10 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 242.8 on 1303 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.0311, Adjusted R-squared: 0.02887

F-statistic: 13.94 on 3 and 1303 DF, p-value: 5.989e-09

Value of test-statistic is: 0.0154 0.659 0.9012

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

Aplicando la primera diferencia

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

```

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.118597 -0.003218  0.000510  0.004810  0.074133

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  8.454e-04  5.958e-04   1.419   0.1562
z.lag.1      -1.126e+00  4.400e-02 -25.603 <2e-16 ***
tt           -1.067e-06  7.886e-07  -1.353   0.1763
z.diff.lag   -5.809e-02  3.007e-02  -1.932   0.0536 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.01074 on 1302 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5636,    Adjusted R-squared:  0.5626
F-statistic: 560.4 on 3 and 1302 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Value of test-statistic is: -25.6032 218.5854 327.8652

Critical values for test statistics:

```

      1pct  5pct 10pct
tau3 -3.96 -3.41 -3.12
phi2  6.09  4.68  4.03
phi3  8.27  6.25  5.34

```

1.2. Precio de Dow Jones Commodities

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

```

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-33.838  -2.717   0.170   2.799  23.036

```

```

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.2951934  1.8828297   0.688   0.492
z.lag.1      -0.0022167  0.0037122  -0.597   0.551
tt           -0.0001299  0.0005287  -0.246   0.806
z.diff.lag   -0.0246993  0.0280838  -0.879   0.379

```

```

Residual standard error: 4.808 on 1303 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.001745,    Adjusted R-squared:  -0.0005535
F-statistic: 0.7592 on 3 and 1303 DF,  p-value: 0.517

```

Value of test-statistic is: -0.5971 0.5377 0.7147

Critical values for test statistics:

```

      1pct  5pct 10pct
tau3 -3.96 -3.41 -3.12
phi2  6.09  4.68  4.03
phi3  8.27  6.25  5.34

```

Aplicando la primera diferencia

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-0.061781	-0.004693	0.000244	0.004906	0.036692

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	3.052e-04	4.809e-04	0.635	0.526
z.lag.1	-9.618e-01	4.025e-02	-23.896	<2e-16 ***
tt	-6.272e-07	6.369e-07	-0.985	0.325
z.diff.lag	-6.575e-02	2.799e-02	-2.349	0.019 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.008674 on 1302 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5112, Adjusted R-squared: 0.5101

F-statistic: 453.9 on 3 and 1302 DF, p-value: < 2.2e-16

Value of test-statistic is: -23.8955 190.3704 285.5418

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.3. Precio del oro

lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-76.815	-5.656	-0.285	5.951	63.383

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	13.852346	5.119617	2.706	0.00690 **
z.lag.1	-0.012373	0.004502	-2.748	0.00607 **
tt	0.003451	0.001435	2.404	0.01635 *
z.diff.lag	-0.085517	0.027643	-3.094	0.00202 **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 12.93 on 1303 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.01428, Adjusted R-squared: 0.01201

F-statistic: 6.291 on 3 and 1303 DF, p-value: 0.0003087

Value of test-statistic is: -2.7483 2.7578 3.9095

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

Aplicando la primera diferencia

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.051549	-0.004469	-0.000223	0.004736	0.047294

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-1.021e-04	5.522e-04	-0.185	0.853
z.lag.1	-1.123e+00	4.169e-02	-26.939	<2e-16 ***
tt	4.237e-07	7.314e-07	0.579	0.562
z.diff.lag	1.075e-02	2.799e-02	0.384	0.701

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.009961 on 1302 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.555, Adjusted R-squared: 0.554

F-statistic: 541.3 on 3 and 1302 DF, p-value: < 2.2e-16

value of test-statistic is: -26.9392 241.9238 362.868

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.4. Precio de Petróleo West Texas Intermediate

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-10.4405	-0.6603	0.0797	0.6799	8.0845

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	2.417e-01	2.006e-01	1.205	0.2286
z.lag.1	-4.328e-03	4.236e-03	-1.022	0.3071
tt	-4.536e-05	1.036e-04	-0.438	0.6617
z.diff.lag	-6.203e-02	2.781e-02	-2.231	0.0259 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.207 on 1303 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.005917, Adjusted R-squared: 0.003628

F-statistic: 2.585 on 3 and 1303 DF, p-value: 0.0518

value of test-statistic is: -1.0218 0.8669 1.1653

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12

```
phi2 6.09 4.68 4.03
phi3 8.27 6.25 5.34
```

Aplicando la primera diferencia

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

Residuals:

```
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.287359 -0.012519  0.001577  0.012944  0.138828
```

Coefficients:

```
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.209e-03  1.396e-03   0.866   0.387
z.lag.1      -1.032e+00  4.073e-02 -25.340 <2e-16 ***
tt           -2.461e-06  1.849e-06  -1.331   0.183
z.diff.lag   -4.291e-02  2.777e-02  -1.545   0.122
---
```

```
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Residual standard error: 0.02517 on 1302 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5376, Adjusted R-squared: 0.5366

F-statistic: 504.7 on 3 and 1302 DF, p-value: < 2.2e-16

Value of test-statistic is: -25.34 214.0725 321.1085

Critical values for test statistics:

```
      1pct  5pct 10pct
tau3 -3.96 -3.41 -3.12
phi2  6.09  4.68  4.03
phi3  8.27  6.25  5.34
```

1.5. Índice de Volatilidad VIX

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

Residuals:

```
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-13.6812  -0.7513  -0.1148   0.5053  22.4044
```

Coefficients:

```
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.2916426  0.1905730  -1.530   0.1262
z.lag.1       0.0105362  0.0104543   1.008   0.3137
tt            0.0002811  0.0001417   1.984   0.0474 *
z.diff.lag   -0.2239058  0.0297994  -7.514 1.06e-13 ***
---
```

```
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Residual standard error: 1.93 on 1303 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.04427, Adjusted R-squared: 0.04207

F-statistic: 20.12 on 3 and 1303 DF, p-value: 9.477e-13

Value of test-statistic is: 1.0078 2.048 2.549

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

Aplicando la primera diferencia

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.30090	-0.04902	-0.00682	0.03707	0.78004

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-4.048e-03	4.716e-03	-0.858	0.391
z.lag.1	-1.101e+00	4.030e-02	-27.324	<2e-16 ***
tt	7.928e-06	6.247e-06	1.269	0.205
z.diff.lag	4.478e-02	2.794e-02	1.603	0.109

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.08504 on 1302 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.525, Adjusted R-squared: 0.5239

F-statistic: 479.6 on 3 and 1302 DF, p-value: < 2.2e-16

Value of test-statistic is: -27.3241 248.8819 373.3223

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.6. Precio de Bitcoin

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3116.6	-33.7	-8.8	32.9	3246.8

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.670638	19.084043	0.035	0.9720
z.lag.1	-0.007664	0.003760	-2.038	0.0418 *
tt	0.053114	0.039698	1.338	0.1811
z.diff.lag	-0.038732	0.027739	-1.396	0.1629

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 332.3 on 1303 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.005148, Adjusted R-squared: 0.002858
 F-statistic: 2.248 on 3 and 1303 DF, p-value: 0.08109

Value of test-statistic is: -2.038 1.5068 2.1743

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

Aplicando la primera diferencia

`lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)`

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-0.49706	-0.01550	-0.00001	0.01847	0.23212

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	4.477e-03	2.651e-03	1.689	0.0914 .
z.lag.1	-1.009e+00	3.966e-02	-25.454	<2e-16 ***
tt	-3.433e-06	3.504e-06	-0.980	0.3274
z.diff.lag	-1.482e-02	2.776e-02	-0.534	0.5936

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.04772 on 1302 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5115, Adjusted R-squared: 0.5104

F-statistic: 454.5 on 3 and 1302 DF, p-value: < 2.2e-16

Value of test-statistic is: -25.4539 215.9697 323.9545

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.7. Poder de Cómputo de Bitcoin

`lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)`

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-5.640e+09	-2.830e+08	-2.661e+07	2.215e+08	6.632e+09

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-3.134e+08	8.193e+07	-3.825	0.000137 ***
z.lag.1	-9.013e-02	1.393e-02	-6.471	1.38e-10 ***
tt	1.024e+06	1.778e+05	5.758	1.06e-08 ***
z.diff.lag	-4.208e-01	2.512e-02	-16.755	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.196e+09 on 1303 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.2412, Adjusted R-squared: 0.2394
F-statistic: 138 on 3 and 1303 DF, p-value: < 2.2e-16

Value of test-statistic is: -6.4708 14.0347 20.9695

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.8. Red de Bitcoin

lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-318392	-27316	-3930	26669	268474

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	2.201e+04	4.931e+03	4.464	8.75e-06 ***
z.lag.1	-5.909e-02	1.133e-02	-5.214	2.15e-07 ***
tt	2.296e+01	6.075e+00	3.779	0.000164 ***
z.diff.lag	-4.112e-01	2.526e-02	-16.274	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 53260 on 1303 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.2105, Adjusted R-squared: 0.2087
F-statistic: 115.8 on 3 and 1303 DF, p-value: < 2.2e-16

Value of test-statistic is: -5.2136 9.1463 13.6465

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.9. Volumen de Bitcoin

lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-10118022	-111056	-45683	26480	14599302

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-5.507e+04	4.233e+04	-1.301	0.193
z.lag.1	-2.169e-01	1.952e-02	-11.114	< 2e-16 ***

```

tt          2.473e+02  5.965e+01  4.145 3.61e-05 ***
z.diff.lag -1.367e-01  2.753e-02 -4.966 7.72e-07 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Residual standard error: 759100 on 1303 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.1418, Adjusted R-squared: 0.1398
F-statistic: 71.78 on 3 and 1303 DF, p-value: < 2.2e-16

Value of test-statistic is: -11.1138 41.1856 61.7702

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.10. Precio de Ethereum

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-229.644	-3.536	-1.484	3.199	170.827

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.8670306	1.6428488	1.136	0.256
z.lag.1	-0.0055927	0.0034561	-1.618	0.106
tt	-0.0009374	0.0027871	-0.336	0.737
z.diff.lag	-0.0152419	0.0315610	-0.483	0.629

Residual standard error: 25.01 on 1005 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.003468, Adjusted R-squared: 0.0004937
F-statistic: 1.166 on 3 and 1005 DF, p-value: 0.3216

Value of test-statistic is: -1.6182 1.067 1.5924

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

Aplicando la primera diferencia

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.58533	-0.02827	-0.00391	0.02807	0.38605

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	8.597e-03	4.585e-03	1.875	0.0611

```

z.lag.1      -9.844e-01  4.486e-02 -21.943   <2e-16 ***
tt           -1.279e-05  7.853e-06  -1.628    0.1038
z.diff.lag   -2.339e-02  3.180e-02  -0.736    0.4622
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Residual standard error: 0.07236 on 1004 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.5026, Adjusted R-squared: 0.5011
F-statistic: 338.2 on 3 and 1004 DF, p-value: < 2.2e-16

Value of test-statistic is: -21.9429 160.4984 240.746

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.11. Poder de Cómputo de Ethereum

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-130164	-9111	-1604	9455	200614

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.999e+03	1.911e+03	1.046	0.296
z.lag.1	-3.918e-03	3.215e-03	-1.219	0.223
tt	3.661e+00	5.573e+00	0.657	0.511
z.diff.lag	-1.439e-01	3.124e-02	-4.607	4.6e-06 ***

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Residual standard error: 30210 on 1005 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.02301, Adjusted R-squared: 0.0201
F-statistic: 7.891 on 3 and 1005 DF, p-value: 3.317e-05

Value of test-statistic is: -1.2188 1.1409 0.9021

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

Aplicando la primera diferencia

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-128293	-8793	-1407	9388	202122

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	2207.47210	1910.64196	1.155	0.248
z.lag.1	-1.17874	0.04778	-24.673	<2e-16 ***
tt	-1.90072	3.27308	-0.581	0.562
z.diff.lag	0.02849	0.03158	0.902	0.367

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 30230 on 1004 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.5733, Adjusted R-squared: 0.5721
F-statistic: 449.7 on 3 and 1004 DF, p-value: < 2.2e-16

Value of test-statistic is: -24.6725 202.9115 304.3673

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.12. Red de Ethereum

lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1541464	-43416	-21914	13196	5039959

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	4.312e+04	1.521e+04	2.835	0.004681 **
z.lag.1	-3.754e-01	2.303e-02	-16.298	< 2e-16 ***
tt	9.784e+01	2.636e+01	3.712	0.000217 ***
z.diff.lag	2.899e-01	3.019e-02	9.603	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 237500 on 1005 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.2173, Adjusted R-squared: 0.215
F-statistic: 93.02 on 3 and 1005 DF, p-value: < 2.2e-16

Value of test-statistic is: -16.2983 88.5464 132.818

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.13. Volumen de Ethereum

lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-----	----	--------	----	-----

-29179729 -1189551 -294434 537941 69768133

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-1.115e+06	2.761e+05	-4.039	5.77e-05 ***
z.lag.1	-2.850e-01	2.543e-02	-11.207	< 2e-16 ***
tt	5.100e+03	6.216e+02	8.205	7.02e-16 ***
z.diff.lag	-3.950e-02	3.270e-02	-1.208	0.227

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 4117000 on 1005 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.1453, Adjusted R-squared: 0.1428

F-statistic: 56.97 on 3 and 1005 DF, p-value: < 2.2e-16

Value of test-statistic is: -11.2065 42.0103 62.9356

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.14. Precio de Litecoin

lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-301	-169	-26	2	68752

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-43.166992	154.988712	-0.279	0.781
z.lag.1	-1.005535	0.047497	-21.171	<2e-16 ***
tt	0.419678	0.300494	1.397	0.163
z.diff.lag	0.002794	0.033539	0.083	0.934

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2310 on 889 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5014, Adjusted R-squared: 0.4997

F-statistic: 298 on 3 and 889 DF, p-value: < 2.2e-16

Value of test-statistic is: -21.1706 149.3975 224.0963

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.15. Poder de Cómputo de Litecoin

Test regression trend

```
Call:
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-130122  -12480   -1869   11996  200673

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  3.535e+03  2.209e+03   1.600   0.110
z.lag.1      -4.041e-03  3.423e-03  -1.180   0.238
tt           1.945e+00  6.298e+00   0.309   0.758
z.diff.lag   -1.445e-01  3.321e-02  -4.350 1.52e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 32100 on 889 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.02365, Adjusted R-squared:  0.02036
F-statistic: 7.178 on 3 and 889 DF, p-value: 9.163e-05
```

value of test-statistic is: -1.1803 1.233 1.0749

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

Aplicando la primera diferencia

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-128203  -12345   -1320   11654  202227

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 3055.66801 2161.07697   1.414   0.158
z.lag.1      -1.18010   0.05081 -23.225 <2e-16 ***
tt           -3.74508   4.18108  -0.896   0.371
z.diff.lag    0.02916   0.03358   0.869   0.385
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 32130 on 888 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5736, Adjusted R-squared:  0.5722
F-statistic: 398.2 on 3 and 888 DF, p-value: < 2.2e-16
```

value of test-statistic is: -23.2252 179.8036 269.7053

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.16. Red de Litecoin

Call:

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-190885	-4738	-1746	3632	188757

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	2980.19608	1507.21317	1.977	0.0483	*
z.lag.1	-0.04971	0.01129	-4.405	1.19e-05	***
tt	2.13998	2.77090	0.772	0.4401	
z.diff.lag	-0.13687	0.03323	-4.119	4.16e-05	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 20720 on 889 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.04701, Adjusted R-squared: 0.04379

F-statistic: 14.62 on 3 and 889 DF, p-value: 2.677e-09

Value of test-statistic is: -4.4046 6.4982 9.7436

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.17. Volumen de Litecoin

Call:

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-13584167	-937966	-134493	433086	20861153

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-4.852e+05	1.587e+05	-3.057	0.0023	**
z.lag.1	-2.249e-01	2.377e-02	-9.461	< 2e-16	***
tt	3.632e+03	4.725e+02	7.687	3.99e-14	***
z.diff.lag	-5.483e-02	3.566e-02	-1.538	0.1245	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2250000 on 889 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.1206, Adjusted R-squared: 0.1176

F-statistic: 40.63 on 3 and 889 DF, p-value: < 2.2e-16

value of test-statistic is: -9.461 29.9477 44.8378

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.18. Precio de Monero

lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-96.416	-1.118	-0.426	0.839	116.618

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	4.308e-01	5.609e-01	0.768	0.4426
z.lag.1	-6.356e-03	3.756e-03	-1.692	0.0909 .
tt	8.204e-05	9.079e-04	0.090	0.9280
z.diff.lag	-1.501e-01	2.906e-02	-5.167	2.81e-07 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 9.508 on 1159 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.02624, Adjusted R-squared: 0.02372

F-statistic: 10.41 on 3 and 1159 DF, p-value: 9.203e-07

value of test-statistic is: -1.6922 1.0994 1.6418

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

Aplicando la primera diferencia

lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-0.52173	-0.03971	-0.00337	0.03276	0.73280

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.543e-02	5.358e-03	2.881	0.00404 **
z.lag.1	-1.239e+00	4.385e-02	-28.257	< 2e-16 ***
tt	-1.866e-05	7.958e-06	-2.344	0.01923 *
z.diff.lag	9.606e-02	2.912e-02	3.298	0.00100 **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.09071 on 1158 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5691, Adjusted R-squared: 0.568

F-statistic: 509.9 on 3 and 1158 DF, p-value: < 2.2e-16

Value of test-statistic is: -28.2572 266.1606 399.2397

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.19. Poder de Cómputo de Monero

lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-130265	-5131	-1001	6550	200438

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	5.998e+02	1.738e+03	0.345	0.730
z.lag.1	-4.134e-03	2.955e-03	-1.399	0.162
tt	4.930e+00	4.598e+00	1.072	0.284
z.diff.lag	-1.435e-01	2.908e-02	-4.935	9.2e-07 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 28130 on 1159 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.0229, Adjusted R-squared: 0.02037

F-statistic: 9.053 on 3 and 1159 DF, p-value: 6.307e-06

Value of test-statistic is: -1.3991 1.2117 1.0002

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

Aplicando la primera diferencia

lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-128420	-4587	-1152	6752	201983

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1391.92936	1655.95092	0.841	0.401
z.lag.1	-1.17777	0.04448	-26.479	<2e-16 ***
tt	-0.52478	2.46241	-0.213	0.831
z.diff.lag	0.02801	0.02941	0.953	0.341

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 28160 on 1158 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.5731, Adjusted R-squared: 0.572
F-statistic: 518.2 on 3 and 1158 DF, p-value: < 2.2e-16

Value of test-statistic is: -26.4795 233.721 350.5815

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

1.20. Volumen de Monero

```
lm(formula = z.diff ~ z.lag.1 + 1 + tt + z.diff.lag)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-532908	-26183	-3971	9475	1167598

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-6.221e+03	4.180e+03	-1.488	0.137
z.lag.1	-1.613e-01	1.842e-02	-8.758	< 2e-16 ***
tt	4.207e+01	7.636e+00	5.510	4.42e-08 ***
z.diff.lag	-1.684e-01	2.910e-02	-5.786	9.26e-09 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 70310 on 1159 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.1209, Adjusted R-squared: 0.1187
F-statistic: 53.15 on 3 and 1159 DF, p-value: < 2.2e-16

Value of test-statistic is: -8.7579 25.6523 38.4228

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau3	-3.96	-3.41	-3.12
phi2	6.09	4.68	4.03
phi3	8.27	6.25	5.34

Anexo B.2 Engle y Granger. Estimación de relación funcional a largo plazo.

2.1 Bitcoin

```
lm(formula = log(price_btc) ~ log(price_dj) + log(price_djc) +  
log(price_gold) + log(wti) + log(vix), data = btc_final)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-0.86188	-0.32799	0.00568	0.32140	1.29537

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
--	----------	------------	---------	----------

```

(Intercept)    -73.00822    1.36929 -53.318 < 2e-16 ***
log(price_dj)    8.01302    0.15672  51.129 < 2e-16 ***
log(price_djc)    2.12248    0.46792   4.536 6.26e-06 ***
log(price_gold) -0.97913    0.21055  -4.650 3.65e-06 ***
log(wti)        -1.51259    0.18683  -8.096 1.29e-15 ***
log(vix)         0.03905    0.04555   0.857 0.392
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.4329 on 1303 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9073, Adjusted R-squared:  0.9069
F-statistic: 2549 on 5 and 1303 DF, p-value: < 2.2e-16

```

2.1.1. Aplicando DFA a los residuos

Value of test-statistic is: -2.9338

Critical values for test statistics:

```

      1pct  5pct 10pct
tau1 -2.58 -1.95 -1.62

```

2.2. Ethereum

Residuals:

```

      Min      1Q   Median      3Q      Max
-2.12180 -0.31749 -0.02869  0.29439  1.20063

```

Coefficients:

```

      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  63.29285    3.62748  17.448 <2e-16 ***
log(price_btc)  1.36458    0.04555  29.955 <2e-16 ***
log(price_dj)  -6.93867    0.29627 -23.420 <2e-16 ***
log(price_djc) -1.38323    0.63678  -2.172  0.0301 *
log(cp)         0.55635    0.03459  16.084 <2e-16 ***
log(wti)        0.45151    0.19807   2.280  0.0228 *
---

```

Signif. codes:

```

0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Residual standard error: 0.4417 on 1005 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.9089, Adjusted R-squared: 0.9084
F-statistic: 2005 on 5 and 1005 DF, p-value: < 2.2e-16

2.2.1. Aplicando DFA a los residuos

Value of test-statistic is: -2.0077

Critical values for test statistics:

```

      1pct  5pct 10pct
tau1 -2.58 -1.95 -1.62

```

2.3. Monero

Residuals:

```

      Min      1Q   Median      3Q      Max

```

-1.64055 -0.26226 -0.02033 0.31004 1.36452

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	5.42754	3.24603	1.672	0.0948 .
log(price_btc)	1.09371	0.04183	26.149	<2e-16 ***
log(price_dj)	-5.98065	0.27395	-21.831	<2e-16 ***
log(price_djc)	7.16485	0.55499	12.910	<2e-16 ***
log(wti)	-0.43600	0.18837	-2.315	0.0208 *
log(cp)	0.43173	0.02420	17.840	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.4534 on 1159 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9518, Adjusted R-squared: 0.9516

F-statistic: 4581 on 5 and 1159 DF, p-value: < 2.2e-16

2.3.1. Aplicando DFA a los residuos

Value of test-statistic is: -3.5899

Critical values for test statistics:

	1pct	5pct	10pct
tau1	-2.58	-1.95	-1.62

Anexo B.3 Engle y Granger. Modelo de Corrección del Error.

3.1 Bitcon

3.1.1 Prueba de Normalidad a los residuos. Jarque Bera.

x-squared = 3609.8, df = 2, p-value < 2.2e-16

i. Corrección al modelo. Box Ljung.

x-squared = 0.75721, df = 1, p-value = 0.3842

3.1.2 Prueba de Homocedasticidad a los residuos. Breusch-Pagan

BP = 101.73, df = 9, p-value < 2.2e-16

i. Corrección al modelo.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.2511277	0.0736737	-3.4086	0.0006729 ***
precio_dj	0.8300409	0.5484588	1.5134	0.1304200
precio_djc	0.2830987	0.3182512	0.8895	0.3738752
precio_oro	0.3531775	0.1837124	1.9224	0.0547680 .
wti	-0.1202686	0.1273389	-0.9445	0.3451018
vix	0.0160749	0.0485251	0.3313	0.7404948
log(red)	0.0256647	0.0071016	3.6140	0.0003131 ***
log(cp)	-0.0050075	0.0017078	-2.9321	0.0034253 **
log(volumen)	0.0013498	0.0017080	0.7903	0.4294905
residuos[-1309]	-0.0099211	0.0041419	-2.3953	0.0167485 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

3.1.3 Prueba de Autocorrelación de los residuos. Durbin-Watson.

DW = 2.0425, p-value = 0.4987

alternative hypothesis: true autocorrelation is not 0

i. Corrección al modelo. Estimación Cochrane-Orcutt.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-0.2330809	0.0679201	-3.432	0.0006187	***
precio_dj	0.8092720	0.1869907	4.328	1.621e-05	***
precio_djc	0.3304671	0.2766480	1.195	0.2324852	
precio_oro	0.3585445	0.1366076	2.625	0.0087762	**
wti	-0.1371647	0.0927817	-1.478	0.1395544	
vix	0.0150227	0.0231151	0.650	0.5158678	
log(red)	0.0240910	0.0065121	3.699	0.0002251	***
log(cp)	-0.0047332	0.0015817	-2.992	0.0028207	**
log(volumen)	0.0011209	0.0016987	0.660	0.5094696	
residuos[-1309]	-0.0094407	0.0036285	-2.602	0.0093780	**

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.0468 on 1297 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.0442, Adjusted R-squared: 0.0376

F-statistic: 6.7 on 9 and 1297 DF, p-value: < 2.313e-09

Durbin-watson statistic

(original): 2.04254, p-value: 7.506e-01

(transformed): 1.99818, p-value: 4.484e-01

3.2 Ethereum

3.2.1 Prueba de Normalidad a los residuos

x-squared = 3253.8, df = 2, p-value < 2.2e-16

i. Corrección al modelo. Box Ljung

x-squared = 4.3714, df = 1, p-value = 0.03655

3.2.2 Prueba de Homocedasticidad a los Residuo. Breusch-Pagan

BP = 20.044, df = 6, p-value = 0.00272

i. Corrección al modelo.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-0.00033515	0.00181204	-0.1850	0.8532995	
precio_dj	0.64780391	0.17757525	3.6481	0.0002778	***
precio_djc	-0.47784888	0.43886756	-1.0888	0.2764937	
precio_btc	0.84476555	0.05920860	14.2676	< 2.2e-16	***
wti	0.06497573	0.13464578	0.4826	0.6295079	
cp	0.07640581	0.04742092	1.6112	0.1074452	
residuos[-1011]	-0.00381263	0.00486486	-0.7837	0.4333974	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

3.2.3 Prueba de Autocorrelación de los residuos. Durbin-Watson.

DW = 1.8683, p-value = 0.03423
 alternative hypothesis: true autocorrelation is not 0

i. Corrección al modelo. Estimación Cochrane-Orcutt.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.00031263	0.00197445	-0.158	0.8742242
precio_dj	0.63720113	0.18036198	3.533	0.0004298 ***
precio_djc	-0.53647749	0.38646301	-1.388	0.1653929
precio_btc	0.85103351	0.03769251	22.578	< 2.2e-16 ***
wti	0.09315799	0.13596633	0.685	0.4934047
cp	0.06901947	0.03723830	1.853	0.0641111 .
residuos[-1011]	-0.00505368	0.00454368	-1.112	0.2662999

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.0581 on 1002 degrees of freedom
 Multiple R-squared: 0.3631 , Adjusted R-squared: 0.3593
 F-statistic: 95.2 on 6 and 1002 DF, p-value: < 1.146e-94

Durbin-watson statistic
 (original): 1.86830 , p-value: 1.711e-02
 (transformed): 1.99306 , p-value: 4.512e-01

3.3 Monero

3.3.1 Prueba de Normalidad a los residuos. Jarque Bera.

X-squared = 14718, df = 2, p-value < 2.2e-16

3.3.2 Prueba de Homocedasticidad a los residuos. Breusch-Pagan

BP = 15.397, df = 6, p-value = 0.01738

i. Corrección al modelo.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.0010864	0.0023871	0.4551	0.649113
precio_dj	0.1342446	0.2322618	0.5780	0.563384
precio_djc	0.2101924	0.5437110	0.3866	0.699132
precio_btc	0.8617681	0.0548442	15.7130	< 2.2e-16 ***
wti	-0.1574817	0.1933100	-0.8147	0.415435
cp	0.0208767	0.0859495	0.2429	0.808129
residuos[-1165]	-0.0140625	0.0054225	-2.5934	0.009624 **

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

3.3.3 Prueba de Autocorrelación de los residuos. Durbin-Watson.

DW = 2.2672, p-value = 5.63e-06
alternative hypothesis: true autocorrelation is not 0

i. Corrección al modelo. Estimación Cochrane-Orcutt.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.0010997	0.0021076	0.522	0.60191
precio_dj	0.1469416	0.2421794	0.607	0.54414
precio_djc	0.0958504	0.4877629	0.197	0.84425
precio_btc	0.8607074	0.0503732	17.087	< 2e-16 ***
wti	-0.1030913	0.1674917	-0.616	0.53835
cp	0.0540616	0.0412126	1.312	0.18986
residuos[-1165]	-0.0090922	0.0046695	-1.947	0.05176 .

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.0813 on 1156 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.2094 , Adjusted R-squared: 0.2053
F-statistic: 51 on 6 and 1156 DF, p-value: < 7.683e-56

Durbin-Watson statistic
(original): 2.26718 , p-value: 1e+00
(transformed): 2.04672 , p-value: 7.751e-01

Anexo B.4 Pruebas de Normalidad

4.1 Bitcoin

JB-Test (multivariate)

data: Residuals of VAR object VAR1
Chi-squared = 2109735, df = 18, p-value < 2.2e-16

Skewness only (multivariate)

data: Residuals of VAR object VAR1
Chi-squared = 7648.2, df = 9, p-value < 2.2e-16

Kurtosis only (multivariate)

data: Residuals of VAR object VAR1
Chi-squared = 2102087, df = 9, p-value < 2.2e-16

4.2 Ethereum

JB-Test (multivariate)

data: Residuals of VAR object VAR1
Chi-squared = 30486, df = 12, p-value < 2.2e-16

Skewness only (multivariate)

data: Residuals of VAR object VAR1
Chi-squared = 1101.9, df = 6, p-value < 2.2e-16

Kurtosis only (multivariate)

data: Residuals of VAR object VAR1
Chi-squared = 29384, df = 6, p-value < 2.2e-16

4.3 Litecoin

JB-Test (multivariate)

data: Residuals of VAR object VAR1
Chi-squared = 28674287, df = 12,
p-value < 2.2e-16

Skewness only (multivariate)

data: Residuals of VAR object VAR1
Chi-squared = 130694, df = 6,
p-value < 2.2e-16

Kurtosis only (multivariate)

data: Residuals of VAR object VAR1
Chi-squared = 28543593, df = 6,
p-value < 2.2e-16

4.4 Monero

JB-Test (multivariate)

data: Residuals of VAR object VAR1
Chi-squared = 37697, df = 12, p-value < 2.2e-16

Skewness only (multivariate)

data: Residuals of VAR object VAR1
Chi-squared = 1227.5, df = 6, p-value < 2.2e-16
Kurtosis only (multivariate)

data: Residuals of VAR object VAR1
Chi-squared = 36470, df = 6, p-value < 2.2e-16

Anexo B.5 Causalidad de Granger

5 Bitcoin

5.1.1 El Índice Dow Jones causa en sentido Granger al precio

Granger causality test


```

Model 1: price_btc ~ Lags(price_btc, 1:1) + Lags(price_dj, 1:1)
Model 2: price_btc ~ Lags(price_btc, 1:1)
  Res.Df Df       F    Pr(>F)
1    1305
2    1306 -1  4.5636 0.03284 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

5.1.2 El precio causa en sentido Granger al Poder de Cómputo

```

Model 1: cp ~ Lags(cp, 1:1) + Lags(price_btc, 1:1)
Model 2: cp ~ Lags(cp, 1:1)
  Res.Df Df       F    Pr(>F)
1    1305
2    1306 -1 28.234 1.263e-07 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

5.1.3 Red causa en sentido Granger al precio

```

Model 1: price_btc ~ Lags(price_btc, 1:1) + Lags(adress_active_count, 1:1)
Model 2: price_btc ~ Lags(price_btc, 1:1)
  Res.Df Df       F    Pr(>F)
1    1305
2    1306 -1 18.526 1.801e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

5.1.4 Precio causa en sentido Granger a la red

```

Model 1: adress_active_count ~ Lags(adress_active_count, 1:1) +
Lags(price_btc, 1:1)
Model 2: adress_active_count ~ Lags(adress_active_count, 1:1)
  Res.Df Df       F    Pr(>F)
1    1305
2    1306 -1 30.544 3.936e-08 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

5.1.5 Índice de Volatilidad causa en sentido Granger al precio

Granger causality test

```

Model 1: price_btc ~ Lags(price_btc, 1:1) + Lags(vix, 1:1)
Model 2: price_btc ~ Lags(price_btc, 1:1)
  Res.Df Df       F    Pr(>F)
1    1305
2    1306 -1 5.5996 0.01811 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

5.1.6 El precio causa en sentido Granger al volumen

```
Model 1: vol_btc ~ Lags(vol_btc, 1:1) + Lags(price_btc, 1:1)
Model 2: vol_btc ~ Lags(vol_btc, 1:1)
      Res.Df Df       F    Pr(>F)
1      1305
2      1306 -1  8.0066 0.004732 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

5.2 Ethereum

5.2.1 Precio de Bitcoin causa en sentido Granger al precio ETH

```
Model 1: price_eth ~ Lags(price_eth, 1:1) + Lags(price_btc, 1:1)
Model 2: price_eth ~ Lags(price_eth, 1:1)
      Res.Df Df       F    Pr(>F)
1      1007
2      1008 -1  6.2934 0.01227 *
---
Signif. codes:
0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

5.2.2 El precio causa en sentido Granger al Poder de Cómputo

```
Model 1: cp ~ Lags(cp, 1:1) + Lags(price_eth, 1:1)
Model 2: cp ~ Lags(cp, 1:1)
      Res.Df Df       F    Pr(>F)
1      1007
2      1008 -1 16.138 6.328e-05 ***
---
Signif. codes:
0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

5.3 Monero

5.3.1 Precio de Bitcoin causa en sentido Granger al precio XRM

```
Model 1: price_xrp ~ Lags(price_xrp, 1:1) + Lags(price_btc, 1:1)
Model 2: price_xrp ~ Lags(price_xrp, 1:1)
      Res.Df Df       F    Pr(>F)
1      1161
2      1162 -1  6.6981 0.009772 **
---
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

5.3.2 Poder de Cómputo

Model 1: $cp \sim \text{Lags}(cp, 1:1) + \text{Lags}(\text{price_xrp}, 1:1)$

Model 2: $cp \sim \text{Lags}(cp, 1:1)$

	Res.Df	Df	F	Pr(>F)
1	1161			
2	1162	-1	14.67	0.0001349 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1