

Análisis de riesgo accionario del portafolio conformado por cinco acciones centrales del índice COLCAP en tiempo de pandemia (2020-2021)

Valentina Paola Frías Macías

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Economista

Trabajo de grado dirigido por:

William Gilberto Delgado Munevar

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Facultad de Administración y Economía

Programa de Economía

27/11/2023

Dedicado a...

Eder Antonia Frías Guerrero y Rocío del Carmen Macías Macías, las dos personas más importantes en mi vida, quienes han sido parte fundamental en todo el proceso brindándome el apoyo y la fuerza necesaria para lograr este objetivo.

Tabla de Contenido

Resumen.....	6
Palabras clave.....	6
Abstract.....	6
1. Formulación del proyecto.....	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Justificación.....	8
1.3 Definición del problema.....	9
1.4 Pregunta de investigación.....	11
1.5 Hipótesis.....	11
1.6 Objetivo general.....	11
1.7 Objetivos específicos.....	12
2. Antecedentes.....	13
3. Estado de la cuestión.....	15
3.1 Definición de crisis financiera.....	16
3.2 Modelo de Markowitz.....	16
4. Marco teórico.....	19
5. Metodología.....	21
6. Procedimiento.....	22
7. Resultados.....	22
7.1 Aplicación del modelo de Markowitz.....	29
7.2 Portafolio de mínimo riesgo.....	32
7.3 Portafolio de máximo riesgo.....	33
7.4 Frontera eficiente.....	35
7.5 Modelación de la metodología GARCH.....	37
8. Conclusiones.....	50
9. Recomendaciones.....	52
10. Referencias.....	53
11. Anexos.....	58

Índice de figuras

Figura 1. <i>Picos de volatilidad para Ecopetrol (2020-2022).</i>	22
Figura 2. <i>Picos de volatilidad para Celsia (2020-2022).</i>	23
Figura 3. <i>Picos de volatilidad para Nutresa (2020-2022).</i>	24
Figura 4. <i>Picos de volatilidad para Grupo Aval (2020-2022).</i>	25
Figura 5. <i>Picos de volatilidad para Grupo Argos (2020-2022).</i>	27
Figura 6. <i>Frontera eficiente de Markowitz.</i>	33
Figura 7. <i>Frontera eficiente de Markowitz.</i>	34
Figura 8. <i>Retornos del portafolio accionario.</i>	35
Figura 9. <i>Autocorrelograma del portafolio accionario.</i>	36
Figura 10. <i>Histograma Modelo GARCH.</i>	43
Figura 11. <i>Pronosticación de valores.</i>	46

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Datos individuales para cada acción.</i>	28
Tabla 2. <i>Matriz de varianza – covarianza.</i>	30
Tabla 3. <i>Matriz de ponderación.</i>	30
Tabla 4. <i>Datos estadísticos.</i>	31
Tabla 5. <i>Cartera de mínimo riesgo.</i>	31
Tabla 6. <i>Datos estadísticos de la cartera de mínimo riesgo.</i>	32
Tabla 7. <i>Cartera de máximo riesgo.</i>	32
Tabla 8. <i>Datos estadísticos de la cartera de mínimo riesgo.</i>	32
Tabla 9. <i>Correlograma del portafolio.</i>	37
Tabla 10. <i>Prueba Dickey-Fuller</i>	38
Tabla 11. <i>Test de Phillips-Perron</i>	40
Tabla 12. <i>Modelo Garch</i>	42
Tabla 13. <i>Test de Portmanteau</i>	44

Resumen

En esta investigación se analiza el portafolio conformado por cinco empresas representativas de distintos sectores, que incluyen Ecopetrol, Celsia, Nutresa, Grupo Aval y Cementos Argos, durante el período de la pandemia (2020 y 2021). El propósito de este estudio es llevar a cabo una evaluación de riesgo y medición de volatilidad en el portafolio compuesto por estas empresas durante el mencionado período. Esto se realiza mediante la aplicación del modelo de Markowitz y la metodología GARCH. A través de estas herramientas, se ha concluido que las acciones analizadas no cumplen con el principio de creación de nueva riqueza. Además, se ha observado, mediante el modelo GARCH, que la volatilidad en la mayoría de los activos es significativamente alta, lo que resulta en un aumento del riesgo en el portafolio bajo análisis.

Palabras clave: portafolio de inversión, rentabilidad esperada, riesgo, volatilidad, empresa y acciones

Abstract

This research analyzes the portfolio composed of five representative companies from different sectors, including Ecopetrol, Celsia, Nutresa, Grupo Aval and Cementos Argos, during the pandemic period (2020 and 2021). The purpose of this study is to carry out a risk assessment and volatility measurement on the portfolio composed by these companies during the mentioned period. This is done through the application of the Markowitz model and the GARCH methodology. Through these tools, it has been concluded that the stocks analyzed do not comply with the principle of new wealth creation. In addition, it has been observed, through the GARCH model, that volatility in most of the assets is significantly high, resulting in an increase of risk in the portfolio under analysis.

1. Formulación del proyecto

1.1 Introducción

Durante la pandemia, los mercados financieros en todo el mundo experimentaron una gran volatilidad debido a la incertidumbre económica y sanitaria. Este periodo provocó que la economía tambaleara y las actividades financieras se volvieran vulnerables a los cambios, independientemente de su magnitud, con lo cual se generó una gran pérdida de confianza e hizo que las compañías quedarán en una posición muy frágil, ya que la volatilidad de esta época alteró al mercado bursátil. Debido a esto el riesgo para los inversores aumentó y esto generó un nivel de rentabilidad o retornos bajos para los activos.

Esta situación crítica no solo se evidenció en Colombia, sino que se trató de una crisis global que no se veía desde la Segunda Guerra Mundial, y que se compara con los efectos de la depresión de 1929. Teniendo en cuenta todo lo anterior, el presente proyecto aborda este momento histórico lleno de incertidumbre, el cual conllevó que el desempeño de las compañías a nivel mundial se viera alterado.

En el periodo que se analiza (2020-2021), se observa que el planeta estuvo ante una de las crisis pandémicas más grandes de toda la historia de la humanidad, que impactó en todos los sectores de la economía, y en la gran mayoría de países. Allí, se presentaron crecimientos y retornos negativos al inicio de la pandemia; además, se tuvo una recuperación que para muchos países sería distinta y lenta, debido a las decisiones gubernamentales con respecto al virus.

En el caso de nuestro país, la situación económica inició con un buen ritmo de crecimiento en los primeros dos meses del 2020; sin embargo, en los siguientes meses el efecto anterior se contrajo y afectó el mercado financiero y más específicamente las acciones por la caída del precio del petróleo y el aumento del precio del dólar.

El presente estudio busca establecer un análisis de riesgo y volatilidad sobre el portafolio de cinco activos principales para cada sector económico en donde se desempeñan sus actividades y cotizantes en el índice COLCAP, siendo estas Ecopetrol, Celsia, Nutresa, Grupo Aval y Cementos Argos en la pandemia generada por el virus Covid-19 en el año 2020. Para realizar lo anterior se planteó como herramienta principal el modelo de Markowitz

el cual busca establecer el enlace o conexión entre la varianza o riesgo como lo conoceremos más adelante y la rentabilidad o retornos de los activos analizados, cuyo fin es encontrar la mejor cartera de inversión para el inversionista.

Por otra parte, se planteó el modelo GARCH con el objetivo de plasmar la volatilidad en el periodo de estudio y así mirar qué tan riesgoso es el portafolio conformado por las acciones estudiadas. Lo anterior podría contribuir a que el análisis de riesgo sea más completo y las empresas posean las herramientas necesarias para tomar decisiones más certeras.

Por otro lado, enfocándonos en la organización del trabajo en la primera parte se aborda la justificación seguida por la definición del problema, la pregunta de investigación, hipótesis, objetivo general y objetivos específicos. Posteriormente se presentan los antecedentes y conceptos fundamentales para entender los sucesos anteriores presentados en el trabajo, además de los principales modelos para comprender de mejor manera la investigación y profundizar en la sección de resultados lo comprendido en la sección anterior.

Luego se muestra el marco teórico en el cual se muestra los autores de mayor peso para el estudio, en seguida encontramos la metodología y el procedimiento donde se explica a detalle cómo se obtuvieron los datos y el tratamiento que se les dará; finalmente en la última sección se exhibirán los resultados en conjunto con su respectivo análisis y las principales conclusiones y recomendaciones.

1.2 Justificación

La pandemia representa cambios que se evalúan aun en el corto plazo, de manera que la nueva realidad experimentada pone a prueba los instrumentos académicos y científicos disponibles, no solo en el área de la salud. En el campo de los estudios de la economía se tienen opiniones divididas que generan polémica en torno a este momento difícil que demandó nuevas perspectivas de estudio.

Debido a este periodo de incertidumbre, en Colombia se generó una inestabilidad en el crecimiento de la economía, evidenciado en el PIB¹ del país. Por tanto, teniendo en cuenta la situación y el material de estudio, en esta investigación se revisa el caso de cinco entidades (una para cada sector), las cuales son Ecopetrol, Celsia, Nutresa, Grupo Aval y Cementos Argos; esto, con el fin de realizar un análisis de riesgo para los años 2020 y 2021.

En el entorno empresarial de un país, resulta fundamental realizar una evaluación de riesgo y volatilidad en las acciones, especialmente en periodos coyunturales o de crisis como la pandemia. Esto permite evaluar los rendimientos de cada acción y el riesgo asociado en el mercado financiero, lo que a su vez facilita que los inversionistas tomen decisiones informadas respecto a la compra y venta de valores.

Además, este estudio puede motivar a las empresas a buscar las herramientas necesarias para prevenir situaciones similares a las vividas durante la pandemia. Esto podría lograrse mediante políticas efectivas que limiten resultados desfavorables y contribuyan a una recuperación equitativa. Asimismo, incentivaría a las instituciones financieras a mejorar sus sistemas de proyección, lo que garantizaría oportunidades de éxito y minimización de pérdidas en diferentes áreas de la empresa. De esta manera, se estaría en condiciones de anticipar eventualidades, detectar áreas coyunturales y trazar un camino a seguir durante periodos desafiantes, similares a lo que se vivió durante la pandemia en 2020.

1.3 Definición del problema

El mercado de divisas desempeña un papel fundamental en el avance del comercio internacional y, en consecuencia, en las inversiones a nivel mundial. En nuestra nación, este mercado opera a través de la Bolsa de Valores de Colombia (BVC), donde se llevan a cabo transacciones tanto de valores activos como de instrumentos financieros. Sin embargo, es importante destacar que este mercado es de menor envergadura en comparación con otros más avanzados, como el Índice de Precios y Cotizantes (IPC) en México o la Bolsa de

¹ Según Martínez (2010. Pág 1) el Producto Interno Bruto como concepto estadístico “es cuantificar la cantidad de productos y servicios terminados que se compran y venden en el mercado durante un período específico.”

Valores de Lima (BVL) en Perú. La volatilidad² en el índice accionario ha generado cierta preocupación, debido a los efectos e impactos que afectan al sector real, al financiero, al flujo de inversiones que se realizan en el país y al riesgo³ que tiene cada acción cotizante, ya que el índice COLCAP refleja las variaciones en los valores de las acciones con mayor liquidez en la Bolsa de Valores de Colombia (BVC) de manera más asequible. Sin embargo, el COLCAP fue el índice del mercado accionario que más caídas sufrió por los efectos derivados de la pandemia, con una pérdida de casi la mitad de su valor, 47% para el mes de marzo del año 2020; aunque es preciso anotar que fue uno de los que más rápido logró recuperarse con una cifra del 17% para el mes de abril de 2021. Este efecto creciente es un claro ejemplo de la gran volatilidad que se presentó en el 2020 a 2021, esto acompañado de las nuevas tecnologías y el aumento de las fluctuaciones cambiarias son escenarios y características fundamentales tomadas para el presente estudio.

En la BVC cotizan empresas⁴ cuyas acciones son medidas por el índice COLCAP, por lo cual es fundamental observar el riesgo accionario en el periodo comprendido entre 2020 y 2021 el cual estuvo caracterizado por la incertidumbre, debido al afecto que tendría este periodo en el dinamismo de la actividad económica y los excesos de capacidad productiva y, por ende, los ritmos de creación y de eliminación de empleo (Carrasquilla y Echevarría Soto, 2020). Este tipo de conducta se vería reflejada en la mayoría de las empresas colombianas, manifestándose en cinco de las principales empresas cotizantes en el COLCAP para cada sector (Retail, banca, servicios, petróleo). Estas compañías son Ecopetrol, Celsia, Nutresa,

² Según la Real Academia Española (2014), “La volatilidad se puede describir como la variabilidad de los precios en los mercados financieros.”

³ Según Vergara y Cervantes (2012. Pág. 11) el riesgo puede definirse como “El nivel de incertidumbre o fluctuación en el rendimiento de una inversión. En términos generales, se puede anticipar que a un mayor nivel de riesgo corresponderá un mayor potencial de retorno en la inversión. Hay diversas categorías de riesgos, que incluyen el riesgo de mercado, riesgo de solvencia, riesgo legal, riesgo de liquidez, riesgo cambiario y riesgo de tasas de interés.”

⁴ El término empresa u organización se puede describir como un grupo de individuos que se rige por un conjunto de reglas con el propósito de alcanzar objetivos específicos. Thompson, I. (2007).

Grupo Aval y Cementos Argos, estas son empresas o compañías líderes en las áreas donde suelen desempeñarse, con participación en la economía colombiana es en promedio de 3,1% del PIB del país; estas empresas aportan alrededor de un 10% y un 13% de los ingresos de la nación. Sin embargo, este panorama presentó un gran reto para estos gigantes, ya que se enfrentaron a una situación donde cualquier error podría conllevar a una gran pérdida. Dada las características y circunstancias de este escenario en este trabajo se realiza un análisis para indagar cómo afectó la pandemia del Covid-19 al riesgo accionario de cada empresa y su participación en el sector donde enfocan sus actividades, con ello se puede indagar el grupo que sufrió más afectaciones y qué acciones (empresariales) fluctuaron de mayor manera en el periodo mencionado (2020 – 2021).

1.4 Pregunta de investigación

¿Cuál fue el riesgo accionario del portafolio conformado por cinco de las principales acciones del índice COLCAP debido a la pandemia del Covid-19?

1.5 Hipótesis

Durante la pandemia, las empresas seleccionadas (Ecopetrol, Celsia, Nutresa, Grupo Aval y Cementos Argos) experimentaron un impacto negativo en el mercado de acciones en Colombia, atribuible a la elevada volatilidad observada en los indicadores del COLCAP. Este escenario generó incertidumbre y un significativo riesgo tanto para los inversionistas como para las compañías, afectando la rentabilidad del portafolio compuesto por las acciones de dichas entidades. Asimismo, influyó en el crecimiento de la productividad y las tasas de inversión corporativa, resultando en una considerable volatilidad del portafolio y una disminución de la rentabilidad, lo que provocó temor y salida de los inversionistas del mercado.

1.6 Objetivo general

Analizar el riesgo accionario del portafolio conformado por cinco de las principales acciones del índice COLCAP durante el periodo pandémico.

1.7 Objetivos específicos

1. Describir los factores que determinan las variaciones para cada empresa seleccionada cotizante en el COLCAP.
2. Realizar un análisis de volatilidad mediante el empleo de la técnica del modelo de Markowitz.
3. Realizar un análisis de volatilidad mediante la utilización de la metodología GARCH.

2. Antecedentes

Para el análisis de antecedentes es importante mencionar algunos acontecimientos financieros ampliamente reconocidos y relevantes que muestren que la crisis pandémica del siglo XXI no ha sido la única ocasión en la que la economía mundial ha entrado en un desequilibrio. Para demostrar lo anterior se toman diferentes estudios e investigaciones en los cuales es evidente no solo los virus tienen la capacidad de afectar la estabilidad económica, sino que también lo pueden hacer condiciones o contextos financieros globales pueden hacer que fluctúe o cambie el entorno. Estos se explican a continuación.

Una de las crisis financieras más importantes, mejor conocida como “La gran depresión”, ocurrió en 1929. Esta fue causada por la especulación, que llevó a muchos inversionistas a poner su dinero en el mercado de valores, provocando que las acciones aumentaran, que hubiera mayores alzas, y que se creara lo que se conoce como burbuja económica. Esto condujo a que los Estados pusieran en práctica políticas para hacer más robusto la organización del sistema financiero (Rincón Prada y González Bueno, 2016).

A pesar de lo mencionado, en el contexto colombiano, esta crisis no tuvo el mismo impacto que en otros mercados. Jaramillo Echeverri et al. (2016) explicaron esta situación basándose en tres factores: en primer lugar, el sólido desempeño de las exportaciones de café durante ese período; en segundo lugar, los cambios en los precios debido a la disminución de la relación real de intercambio, lo que impulsó el proceso de industrialización mediante importaciones; y, por último, la devaluación del peso frente al dólar.

La crisis financiera subsiguiente ocurrió a finales de los años ochenta, como resultado de crecientes desequilibrios comerciales entre naciones industrializadas y aquellas en desarrollo, tal como lo ratifica Pérez de Villarreal (2010). Por ejemplo, la declaración de bancarrota de México en 1982 y el flujo excesivo de liquidez hacia países en vías de desarrollo. Estos eventos se originaron debido a la crisis energética y el marcado aumento en los precios del petróleo en la década de los setenta, impulsado por las necesidades de las compañías petroleras que habían mantenido dichos precios en niveles muy bajos desde la década de los cincuenta (Gutiérrez, 1986). Es fundamental destacar que esta crisis estaba centrada en las "deudas soberanas", planteando la incertidumbre sobre el destino de los grandes bancos a nivel global y, al mismo tiempo, sobre qué ocurriría con las naciones en desarrollo que estaban altamente endeudadas. Este desafío, como destaca Marichal (2010) en su obra

"Nueva historia de las grandes crisis financieras", implicaba una carga significativa para los países latinoamericanos. Además, el autor señala que, a pesar de la carga de bonos en América Latina, las renegociaciones de deudas demostraron que los garantes tenían una capacidad de organización mucho mayor después de la crisis que en épocas anteriores.

En Colombia, además de lo mencionado, según Cáceres, J. (2009) se presentaron situaciones políticas que ahondaron la crisis, causando en la actualidad unas tasas de interés altas las cuales fueron provocadas gracias al miedo de los bancos, perdiendo parte de la eficacia que se venía manejando, produciendo que el avance del sector financiero se redujera, por lo cual hoy en día es menor al resto de países latinoamericanos.

En este sentido la crisis de 2007, considerada como la primera gran crisis del siglo XXI, se desencadenó a raíz de la explosión de la burbuja de Internet en 2001. Este surgimiento en 2001 se debió a la decisión de la Reserva Federal de reducir la tasa de interés a corto plazo al 1% con el objetivo de evitar una recesión, fomentando el crédito y el consumo como lo menciona Cáceres en su artículo. En este contexto, muchos inversores dirigieron su atención hacia propiedades que eran consideradas inversiones seguras, generando beneficios significativos y contribuyendo al aumento de los precios de bienes raíces y, en consecuencia, de la deuda. Así, se comenzó a gestar una burbuja inmobiliaria en los primeros años de esa década.

Esta crisis se conoce como la crisis de las hipotecas subprime, ya que las instituciones financieras tenían una significativa cantidad de activos riesgosos en sus balances. Según Dehesa (2009), estos activos de baja calidad consistían en préstamos hipotecarios de alto riesgo. Estos préstamos incumplieron debido a la burbuja inmobiliaria, lo que resultó en una marcada devaluación de dichos activos. Los bajos tipos de interés que prevalecían en la economía estadounidense en ese momento fomentaron un endeudamiento generalizado de las familias.

La crisis financiera más reciente se produjo en 2008, originada por el colapso del mercado hipotecario y el estallido de la burbuja inmobiliaria en los Estados Unidos. Este fenómeno se extendió desde Estados Unidos hacia Europa, en parte debido a la extensa utilización de la titulización y los derivados de crédito incumplido o seguros de crédito, que son instrumentos financieros utilizados para gestionar el riesgo (Chavarro, M., 2013). No obstante, como sugiere el texto de Marichal (2010) el desencadenante de esta crisis se originó

debido a la explosión de una burbuja financiera que se gestó a partir de políticas monetarias y fiscales indulgentes implementadas desde 2001 por la Reserva Federal y el Departamento del Tesoro de Estados Unidos. También influyeron en este contexto una creciente relajación de las regulaciones financieras y un auge especulativo en el mercado hipotecario. El texto sugiere que la crisis del 2008 destacó de manera impactante la inestabilidad inherente de los mercados financieros, subrayando la necesidad imperante de aplicar marcos regulatorios estrictos para su correcto funcionamiento.

En su análisis de crisis globales, Sanahuja (2010) señala que esta crisis generó un extenso proceso de desapalancamiento, caracterizado por una disminución en el mercado crediticio, lo que resultó en un impacto generalizado en la economía. Esto se manifestó en una reducción del crédito disponible para la inversión, una pérdida de confianza por parte de consumidores y empresas, lo que redujo la demanda y provocó una caída en la producción, la inversión y el empleo. Además, este proceso se transmitió a través de la disminución de la inversión, el crédito y el comercio internacional.

En relación con esta crisis, su impacto en el mercado colombiano se evidenció inicialmente a través de una baja en la demanda, causada por la disminución de la eficiencia en la economía mundial. Esto llevó a restricciones en las exportaciones de materias primas y mano de obra asequible. En segundo lugar, se observó un conflicto económico derivado de la reducción de la inversión, impulsado por el pánico financiero que experimentaron los inversionistas al transferir sus fondos a inversiones más seguras, como los bonos del tesoro de países más desarrollados (Rincón y González, 2016).

3. Estado de la cuestión

Para seguir avanzando en la investigación es necesario definir algunos conceptos y hacer hincapié en autores vitales para el desarrollo de los resultados de la investigación, lo que permitirá dar más claridad al estudio. El primer concepto revisado gira en torno a la definición de crisis financiera, el cual concede un acercamiento más profundo en torno a los antecedentes del estudio. Luego se llevó a cabo un análisis comparativo entre los autores seleccionados para la investigación, entre los cuales se incluyen las contribuciones de figuras clásicas como Harry Markowitz, William Sharpe y James Tobin. Son escogidos por el gran aporte al análisis accionario que realizan al análisis, permitiendo construir una aproximación

no solo sobre el enfoque teórico sino también en la aplicación metodológica del trabajo. Además, autores como Sharpe y Tobin son mencionados debido a la ampliación del modelo base de Markowitz, escogido para formular los resultados.

3.1 Definición de crisis financiera

De acuerdo con la descripción de Mishkin (1991), este tipo de escenarios son alteraciones que impactan el funcionamiento de los mercados financieros de manera tan significativa que estos no pueden suministrar eficazmente los recursos necesarios para aprovechar oportunidades de inversión. En consecuencia, una crisis financiera puede desencadenar un desequilibrio en la economía.

En la investigación realizada por Von Hagen, Jürgen y Tai-kuang (2003), se explican las crisis monetarias como situaciones en las que se experimenta una disminución en la demanda de dinero, lo que conlleva a considerables caídas en las tasas de interés o a la devaluación de la moneda. Además, se definen como cambios significativos en ciertos indicadores monetarios, tal como lo describen Glick y Hutchison (1999), entendiendo esto como alteraciones sustanciales que superan los parámetros establecidos.

Estas crisis financieras pueden propagarse mediante el modelo monetario establecido, cuando existe un tipo de cambio fijo, las crisis pueden atraer flujos de otros países, lo que resulta en una reducción de la oferta de dinero y una disminución de la actividad económica en esas naciones. Sin embargo, si se emplea un tipo de cambio flexible, las repercusiones en el sistema podrían ser menos severas, de acuerdo con la opinión de autores como Mishkin (1991), Bordo (1985), Schularick y Taylor (2009), entre otros. Dado lo expuesto previamente, en la siguiente sección se describe una de las principales metodologías utilizadas en la investigación, destacando tanto sus beneficios como sus limitaciones, y resaltando los autores que contribuyen al análisis de la pregunta planteada inicialmente.

3.2 Modelo de Markowitz

En primer lugar, se introduce la teoría de la selección de carteras creada por Harry Markowitz, que posteriormente sería enriquecida por otros economistas. Esta teoría se incorpora en el ámbito financiero y contribuye de manera significativa al progreso teórico de dicho modelo.

En 1952, Markowitz publicó el artículo "Portfolio Selection," donde demostró la importancia de diversificar carteras y evidenció que un inversor puede reducir el riesgo al seleccionar acciones con menor volatilidad. No obstante, antes de la publicación de este artículo, los economistas ya sabían que un portafolio con un mayor número de acciones implicaba un menor riesgo en comparación con uno con menos acciones. Lo que Harry Markowitz demostró fue que el cambio en una cartera no solo depende de la cantidad de acciones que la componen, sino también de la correlación entre los rendimientos de las acciones que la integran. Este modelo captura los aspectos esenciales del comportamiento racional de un inversor, buscando optimizar la cartera para maximizar la rentabilidad dado un nivel de riesgo, o viceversa, según las preferencias del inversor.

Harry Markowitz (1912-1990) fue el pionero en presentar la regla del valor esperado-varianza, la cual implica la maximización de la utilidad esperada de la riqueza de los inversores. En esta regla, se busca encontrar la combinación óptima entre el valor esperado, permitiendo que los inversionistas elijan sus carteras de manera aleatoria y tomen decisiones fundamentadas en este criterio de valor esperado.

De acuerdo con la teoría de Markowitz, se persigue la identificación de carteras eficientes que ofrezcan la máxima rentabilidad dado un nivel de riesgo específico y, a la inversa, el mínimo riesgo para una rentabilidad determinada. Markowitz establece un marco matemático eficiente en el que resuelve problemas cuadráticos, y a partir de ello, desarrolla un modelo de cartera óptima que maximiza la rentabilidad y minimiza el riesgo. Este enfoque se basa en el principio de la diversificación, lo que significa que es factible obtener una cartera con un alto rendimiento y un riesgo reducido.

De esta manera, en 1958, Tobin amplió el examen de la teoría de Markowitz al plantear la pregunta de qué sucedería si todos los inversores pudieran endeudarse a la misma tasa de interés. La respuesta a esta interrogante fue que los inversores podrían elegir la misma cartera, independientemente de su aversión al riesgo.

Además, en su artículo titulado 'La preferencia de liquidez como actitud hacia el riesgo' (1975), Tobin comienza su análisis desde la perspectiva de la teoría de la preferencia por la liquidez. En este contexto, se examinan las elecciones de las personas en cuanto a la cantidad de su riqueza que destinan a activos monetarios específicos, enfocándose en la distribución entre efectivo y otros activos monetarios que generan rendimientos.

En última instancia, Tobin concluye que la teoría de la aversión al riesgo constituye el fundamento de la preferencia por la liquidez y establece una relación inversa entre la demanda de dinero y la tasa de interés. Esta teoría no se apoya en la suposición de que las expectativas sean rígidas en cuanto a la tasa de interés. Sin embargo, para desarrollarla, fue suficiente plantear la hipótesis de que el valor esperado de las ganancias o pérdidas de capital, en su mayoría, es nulo debido a la tenencia de activos que ofrecen tasas de interés más altas.

Más adelante, Sharpe creó el modelo de mercado, que surgió como una instancia específica de su propio modelo. Este último, a su vez, fue el resultado de una simplificación del modelo de Markowitz. Sharpe observó que el modelo de Markowitz implicaba un complicado proceso de cálculo debido a la necesidad de gestionar todas las covarianzas entre cada par de activos de manera adecuada.

Para abordar estos desafíos, Sharpe propone asociar el comportamiento de los rendimientos de cada acción a una variable macroeconómica específica. Este enfoque, denominado 'modelo diagonal', se caracteriza porque la matriz de varianzas y covarianzas presenta valores sólo en posiciones fuera de la diagonal principal, es decir, respecto a los rendimientos individuales de cada activo.

Además, Sharpe investigó una perspectiva que hoy se conoce como el Modelo de Mercado. En este enfoque, se postula que el rendimiento de cada activo está relacionado con un solo factor, comúnmente identificado como un factor de mercado, como, por ejemplo, el coeficiente beta⁵, que es ampliamente reconocido en la actualidad (Shapiro, 1999).

Asimismo, Sharpe simplificó el cálculo de carteras eficientes al recurrir a la teoría del equilibrio del mercado de valores. Se planteó la cuestión de cómo sería si todos los inversores se comportaran como optimizadores de carteras según la teoría de Markowitz. En este escenario, podrían tener diferentes sumas de dinero invertidas en el mercado de valores, pero cada uno seleccionaría la misma cartera de activos de riesgo. Por lo tanto, se analizaría el total de liquidez invertida en activos específicos y se dividiría entre el total de liquidez en el mercado de capitales en su conjunto.

⁵ Como lo define Sharpe (1964) esta fórmula se encarga de medir las perturbaciones de una compañía en relación con las alteraciones del mercado.

Además, el investigador afirmó que el equilibrio de la cartera de activos individuales equivale a la cartera de mercado. Esta observación sugiere que la cartera de mercado es eficiente en términos de variaciones, es decir, se sitúa en el límite de eficiencia, lo que cumple con los criterios fundamentales para ser considerada como una de las contribuciones más significativas del Modelo de Precios de Activos de Capital (CAPM).

4. Marco teórico

Teniendo en cuenta lo anterior y la importancia de estos autores en la investigación, las principales teorías y estudios mencionadas a continuación que sustentan el estudio, permitirán en esta sección aproximar el enfoque principal que se tomará en esta investigación.

Uno de los primeros trabajos que abordó la cuestión del riesgo financiero es el libro de Graham y Dodd publicado en 1934, titulado "Security Analysis". En este libro, llevaron a cabo un análisis de los estados financieros de diversas empresas con el propósito de establecer los criterios adecuados para la selección de bonos y acciones, con el objetivo de proporcionar orientación a los potenciales inversores.

Más adelante, en 1935, Hicks presentó una teoría de inversión de cartera que subrayaba la necesidad de desarrollar una nueva teoría monetaria en combinación con la teoría del valor. Además, examinó la posible existencia de conflictos entre los costos de transferencia de activos y la introducción de riesgo, particularmente en lo que respecta al riesgo asociado con realizar múltiples inversiones, que no necesariamente está relacionado con el riesgo inherente a cada inversión, especialmente si se realizan de manera independiente.

Además, a través de un artículo publicado en el Journal of Finance en 1952, Markowitz argumenta la necesidad de que los inversores adopten un enfoque más racional al tomar decisiones de inversión en activos financieros. Luego, en 1959, lanzó un libro titulado 'Selección de Carteras: Diversificación Eficaz de Inversiones', en el cual detalló su modelo basado en el enfoque del inversor, quien busca la rentabilidad mientras evita el riesgo. Según Markowitz, una cartera se considera eficiente si logra ofrecer el máximo rendimiento en relación con un nivel de riesgo determinado, o si presenta el menor riesgo para un nivel específico de rentabilidad.

Asimismo, destacó que el valor de una cartera no depende únicamente de la cantidad de acciones que la componen, sino que también está influenciado por los rendimientos de las acciones que forman parte de ella. Markowitz estableció la relación entre la minimización de la varianza de los activos y su rentabilidad, tal como se refleja en la matriz de varianza y covarianza, respectivamente. Con esto, confirmó que la técnica conocida como el análisis de Media – Varianza permitía la creación de carteras eficientes que buscan maximizar la rentabilidad dado un nivel de riesgo específico (Díaz, 2010).

La teoría de Markowitz proporciona una manera de identificar la frontera eficiente, que se refiere a un conjunto de carteras compuestas por todas las posibles combinaciones de riesgo entre los diversos activos que conforman una cartera única. A partir de esto, se busca lograr el rendimiento esperado más alto para cualquier nivel de riesgo específico. Este análisis desempeñará un papel crucial en la evaluación del riesgo de las acciones de las empresas, ya que nos permite evaluar la variabilidad de las carteras generadas en diferentes niveles de rendimiento y, en consecuencia, identificar las carteras óptimas y menos óptimas.

Esta teoría fue un catalizador para la realización de varios estudios, algunos enfocados en profundizar en la teoría misma, mientras que otros se concentraron en simplificar el enfoque matemático utilizado en el modelo. Uno de los estudios sobresalientes es el Teorema de la Separación propuesto por Tobin en 1958, el cual introduce la noción de activo sin riesgo y presenta alternativas adicionales para invertir. Por otro lado, tenemos el Modelo de Valoración de Activos de Capital (CAPM) desarrollado por William Sharpe en 1963, que explica la importancia de la diversificación de carteras e introduce conceptos como el riesgo sistemático, riesgo no sistemático y prima de riesgo. Finalmente, los Modelos de Tres Factores de Fama y French, creados en 1990 y 1993, se utilizan para explicar la variabilidad de los rendimientos en diversas carteras y se basan en la teoría de Markowitz (Miera y Zubia, M. 2002).

En otro aspecto crucial de la investigación, se abordará el modelo GARCH, propuesto por Bollerslev en 1986, también conocido como el modelo autorregresivo generalizado. Este modelo se encarga de estimar la volatilidad a mediano plazo mediante una regresión, que depende de las perturbaciones retardadas y la suma de las varianzas. Cabe destacar que este modelo se integra con su predecesor, el modelo autorregresivo condicionalmente heterocedástico (ARCH), que desempeña un papel vital en la modelación de la volatilidad en una serie temporal. La combinación de ambos, conocida como el modelo ARCH-GARCH, se

convierte así en una herramienta esencial para modelar y obtener la volatilidad en la serie temporal de las acciones objeto de estudio.

5. Metodología

Para evaluar el impacto de la pandemia de COVID-19 en las acciones que componen el índice COLCAP, seleccionadas para este estudio, se lleva a cabo un análisis cuantitativo con el propósito de identificar, describir y analizar los factores que afectaron a las empresas durante el periodo de la pandemia. Este análisis comparativo se realiza entre el año 2020, al inicio de la pandemia, y el año 2021, al final de esta. Se utilizan los precios de cierre de las acciones de las empresas seleccionadas, obtenidos de Yahoo Finance, así como los datos del índice COLCAP, obtenidos de la Bolsa de Valores de Colombia (BVC). Estos datos se recopilan diariamente y se procesan mediante la herramienta Excel, específicamente el programa Excel Solver. Se construye una matriz de precios y se calcula una matriz de rentabilidad utilizando los precios de cierre de cada empresa, lo que permite obtener el rendimiento esperado, la varianza y el riesgo histórico de las empresas previamente elegidas. Por último, se genera una matriz de varianza y covarianza, conocida como matriz de Markowitz, para analizar el riesgo y la diversificación de las carteras.

Asimismo, para obtener los resultados de la investigación, se empleó el modelo de Markowitz, que se utiliza para evaluar la volatilidad, el rendimiento y determinar la cartera óptima de las acciones mencionadas en el marco teórico. En este contexto, se crearon distintos niveles de rendimiento, los cuales quedaron reflejados en la Frontera Eficiente de Markowitz, identificándose, para cada nivel de rendimiento, las carteras que exhibieron una mayor o menor volatilidad. Finalmente, se empleó el modelo GARCH con el respaldo del programa Stata para analizar el riesgo sistemático de las acciones seleccionadas mediante el estudio de la volatilidad, esta metodología permitió realizar pronósticos de los valores examinados en el portafolio de acciones.

6. Procedimiento

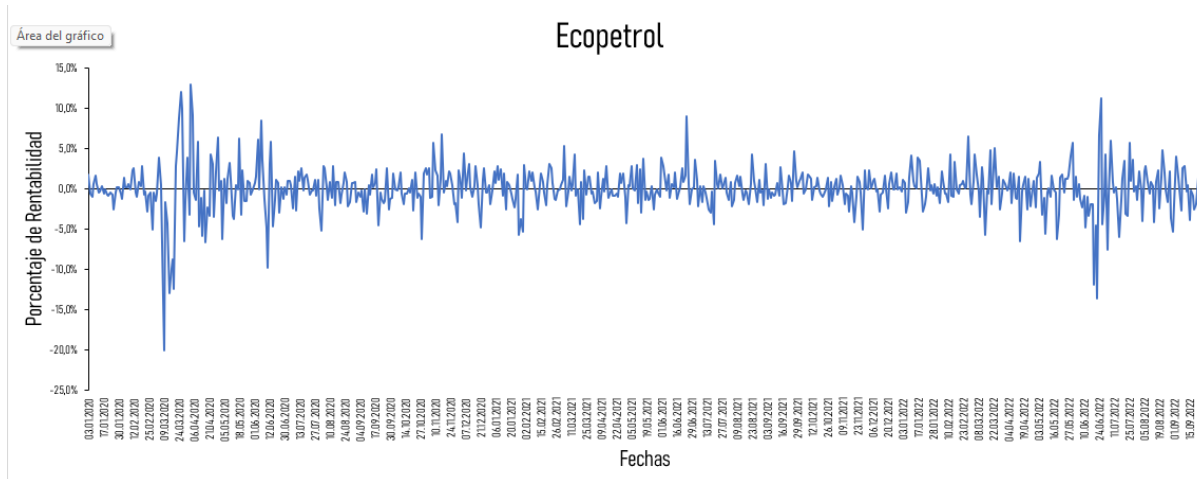
En lo que respecta al proceso, se iniciará descargando la información de las acciones que cotizan en la Bolsa de Valores de Colombia y de la página de Yahoo Finance correspondiente a cada una de las empresas seleccionadas. Luego, se calcularán los rendimientos de las acciones y los rendimientos del índice de mercado, teniendo en cuenta la variación diaria de las cotizaciones. Estos datos serán esenciales para la implementación del Modelo de Markowitz. Posteriormente, se avanzará en la modelación de la metodología GARCH, que permitirá analizar la volatilidad y el riesgo asociados a cada acción.

7. Resultados

En las siguientes representaciones gráficas, se expondrá la evolución diaria de las acciones de las cinco empresas seleccionadas para este estudio, acompañada de un breve análisis individual de cada empresa. Estas gráficas reflejan una tendencia tanto al alza como a la baja durante el primer trimestre de 2020, que coincidió con la llegada del virus al país. Además, se observa una notable volatilidad en los retornos durante los primeros trimestres de 2020. A continuación, se presentarán los análisis de riesgo para el portafolio conformado por cada empresa, realizados a través del modelo de Markowitz, seguidos de los resultados relacionados con el modelo GARCH.

Figura 1.

Picos de volatilidad para Ecopetrol (2020-2022).



Nota: Se muestran picos de volatilidad durante los años 2020 a 2022 (Datos tomados de la BVC). Fuente: elaboración propia.

El petróleo es un producto fundamental en la mayoría de las industrias, por lo cual ha tenido gran influencia en las economías tanto a nivel nacional como mundial. Para el 2019, las exportaciones petroleras en Colombia disminuyeron en un 6,15%⁶ con respecto al año anterior y para el 2020 se redujeron aún más debido a los efectos de la pandemia, pasando de USD 13.035,36 millones en el 2019 a USD 7.132,73 millones en el 2020 siendo lo anterior una reducción de 45,28%.

Los efectos provocados a nivel mundial por el Covid-19 tuvieron incidencia en la mayoría de los sectores y el sector petrolero no fue ajeno a esto, impactos que se vieron reflejados en los niveles de desempleo, bajos estimados de inversión y una disminución en la producción de petróleo en el país, lo que ocasionó una baja en los ingresos de la nación. Frente a esta situación Ecopetrol estableció un plan que incluía inversiones orgánicas para aumentar la producción y las reservas, inversiones de confiabilidad para operaciones responsables y por último diseño de estrategias de innovación tecnológica que lograría reducir la huella de carbono de sus operaciones y productos.

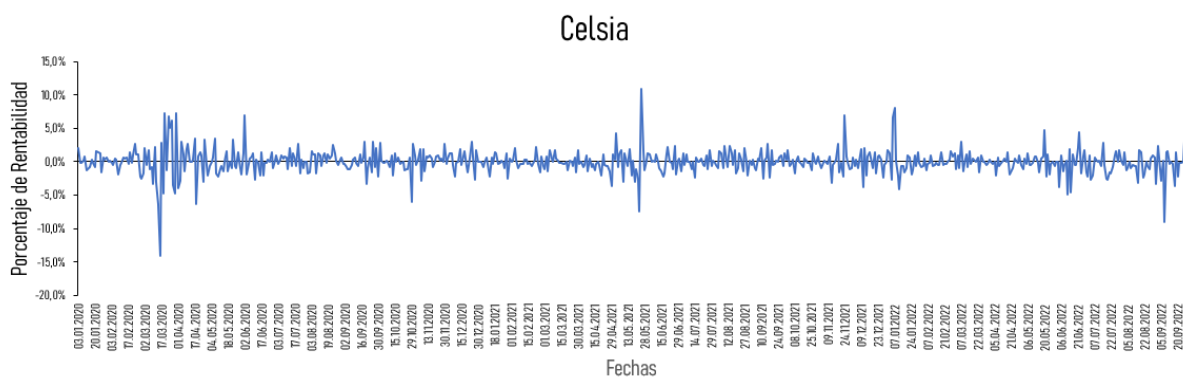
⁶ En esta investigación se utilizarán comas para los decimales.

Gracias a las estrategias anteriores se logró garantizar la sostenibilidad de la compañía a pesar de las condiciones incertidumbre en el mercado laboral y las fluctuaciones de los precios, lo cual se vio reflejado en el año 2021, cuando se experimentó una reactivación económica que condujo a un aumento en las exportaciones de petróleo, alcanzando la cifra de USD 10,201.27 millones. Esto representó un incremento del 43.02% en comparación con los datos registrados en 2020 (LEGIS, 2022).

Sin embargo, aunque el 2021 fue un año muy bueno para Ecopetrol, en el 2022 las acciones de la compañía bajaron en gran medida debido a la inestabilidad del mercado internacional del crudo, el disparo del dólar y la salida de capitales hacia otros destinos de inversión. Además, es necesario tener en cuenta que la empresa fue excluida de los fondos internacionales del MSCI, lo cual afectó la confianza de los inversores perdiendo un 12% de acciones. Lo anterior se evidencia en el gráfico donde se puede ver la gran volatilidad que hubo para este año.

Figura 2.

Picos de volatilidad para Celsia (2020-2022).



Nota: Se muestran picos de volatilidad durante los años 2020 a 2022 (Datos tomados de la BVC). Fuente: elaboración propia.

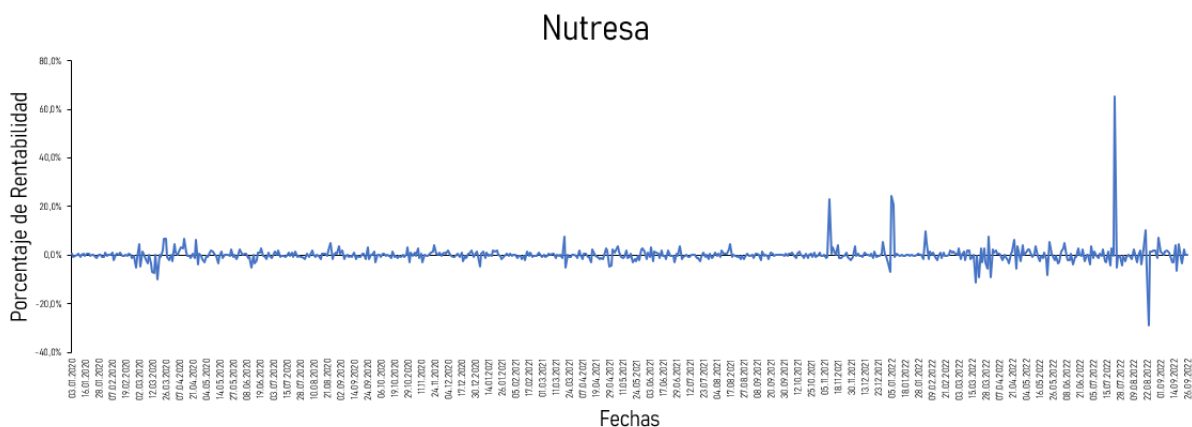
En el caso de Celsia, una empresa reconocida por su actividad en el sector de energía eléctrica dentro del grupo Argos, su comportamiento bursátil en 2020 mostró un marcado aumento en el precio de sus acciones, superando la tendencia de la producción nacional que se mantuvo constante. Sin embargo, en 2021, se observa una disminución en el precio de la acción, situándose por debajo de la producción nacional. Ante esta situación, la compañía

aumentó su producción, generando un incremento en las utilidades y logrando que el precio de la acción se elevara, alcanzando su punto más alto durante el año. Este repunte se atribuye a la significativa producción de energía a nivel nacional, impulsada por la gradual reactivación económica. (Loaiza, 2019)

Para el 2022 se puede evidenciar una disminución en lo transcurrido del año atribuible a que las condiciones del mercado presentaron variaciones, la inflación es más alta y las tasas de los bancos representativos (Reserva Federal y Banco de la República) fueron elevadas, lo cual disminuye las expectativas de valor esperadas para la compañía.

Figura 3.

Picos de volatilidad para Nutresa (2020-2022).



Nota: Se muestran picos de volatilidad durante los años 2020 a 2022 (Datos tomados de la BVC). Fuente: elaboración propia.

Grupo Nutresa es una compañía esencial en Latinoamérica y sus productos agregan valor a la acción de la empresa, debido a que los productos ofertados hacen parte de la canasta básica familiar, por lo cual tienen ingresos constantes y proporcionales a la variedad de artículos que posee el “gigante”.

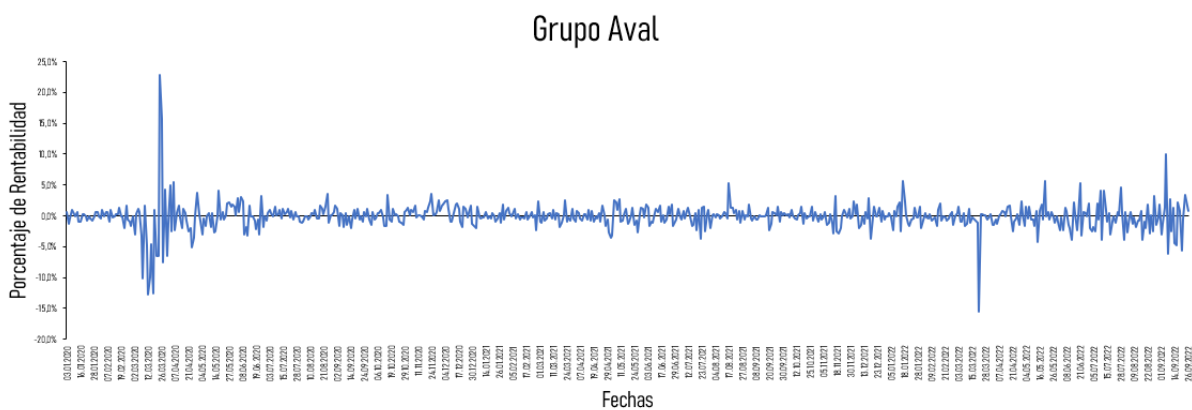
Basados en lo anterior y pertenecer al grupo de compañías de productos de primera necesidad Nutresa para el 2020 no sufrió muchos cambios en sus ventas, ya que el consumo de estos bienes no varía ante cambios en los precios. (Calvo, J., 2020). De hecho esta situación mejoró las ganancias de la empresa que incrementaron durante este periodo, sin embargo a pesar de que hace parte de la industria de bienes de consumo y en la situación

sanitaria se mantuvo estable, los cambios en los modelos de producción y métodos de producción de trabajo afectaron de muchas maneras al grupo que gráficamente se ve representado en pequeños picos en su mayoría positivos, esto gracias a la capacidad de adaptabilidad que tuvo la empresa respecto a los cambios de hábitos de consumo en su clientela. Este patrón perduró en el transcurso de 2020 y parte del 2021, ya que para este año gracias a la reactivación económica posterior al periodo pandémico el valor de la acción se elevó explicado por las nuevas tendencias de consumo (República, 2021).

En el año 2022 las acciones de la compañía tuvieron un pico más alto registrado, ya que fue objeto de compra desde el año anterior por Jaime Gilinski incrementando el valor de las acciones; no obstante, debido a la volatilidad de los mercados globales este pico disminuyó tan rápido como subió y los riesgos locales que percibieron los inversionistas acompañados de la incertidumbre fueron los factores decisivos para la caída de la acción de Nutresa. Posterior a esto la acción mantuvo un ritmo constante.

Figura 4.

Picos de volatilidad para Grupo Aval (2020-2022).



Nota: Se muestran picos de volatilidad durante los años 2020 a 2022 (Datos tomados de la BVC). Fuente: elaboración propia.

Remontándonos un año atrás al periodo pandémico Grupo Aval presentó un comportamiento constante en su tendencia alcista en términos del incremento del porcentaje en el respectivo valor de la acción y finalizando este periodo con un incremento 0.3% que no representa un aumento significativo, pero que mantiene la tendencia que presentó el conglomerado. (BBVA, s.f, sección de Introducción, párr. 2)

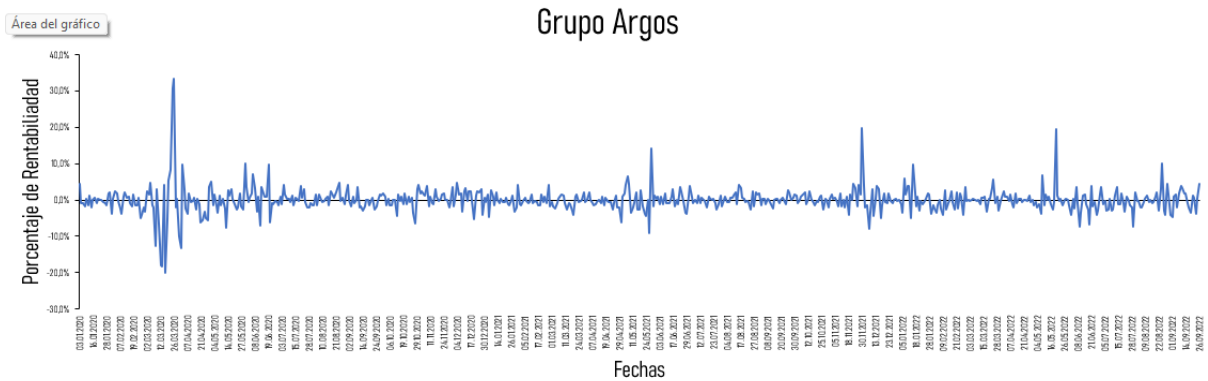
Entrado en el año 2020 el Covid-19 generó la conocida caída masiva de precios no solo en el territorio nacional sino también de manera mundial, provocando que la acción sufriera una baja cotizando en “748 COP para el 16 de marzo de 2020” que en términos porcentuales sería una contracción accionaria de 50.8%. Posterior a esta gran caída el conglomerado fue escalando poco a poco rompiendo ese pico bajista provocado por la pandemia, alcanzando para finales del año (5 de octubre de 2020 – 28 de diciembre de 2020) el monto de 1.196 COP respecto a la tendencia anterior que porcentualmente sería un aumento del 20.5% (Admiral Markets, 2020, sección de Que es un soporte y resistencia en trading, párr. 2).

Para el 2021 con la apertura económica Grupo Aval logró regular lentamente el precio de su acción, lo cual se evidencia en la poca volatilidad que hubo en mitad de este año y la culminación de este. Lo anterior se puede explicar debido a la recuperación de la confianza de los inversores, lo cual generó cambios significativos al interior de este gran grupo en sus procesos y planes que implementaron no solo para este año sino también hacia el futuro.

Los cambios implementados dieron sus frutos en el año 2022 donde en los primeros meses del año la acción presentó una tendencia alcista sustentado en mejores índices de calidad de cartera, indicadores de eficiencia estable y el mantenimiento en la disciplina de precios, obteniendo un crecimiento de 16.5%. Esto provocó que los ingresos netos crecieran en 7,1% gracias al buen comportamiento de las comisiones bancarias, esto se ve reflejado en el gráfico principal donde en la mayor parte del año se nota una tendencia alcista.

Figura 5.

Picos de volatilidad para Grupo Argos (2020-2022).



Nota: Se muestran picos de volatilidad durante los años 2020 a 2022 (Datos tomados de la BVC). Fuente: elaboración propia.

El movimiento accionario de Grupo Argos en época pandémica fue similar al de su año predecesor (2019) a pesar de los desafíos ocasionados por los cierres de operaciones en Colombia. En comparación con otras compañías y conglomerados Argos tuvo una volatilidad controlada, que permitió que se reafirmará su sistema financiero y la capacidad para ejecutar medidas que permitieran proteger su liquidez, gracias a este tipo de estrategias no solo permitieron que la compañía reportará un aumento del 15% en el ebitda para este periodo de tiempo, sino también sus acciones se mantuvieron al alza.

Para el 2021, de acuerdo con la BVC (2021) a pesar de las múltiples estrategias realizadas el compartimento de la acción de Grupo Argos tuvo una tendencia bajista desde enero hasta junio del mismo año, donde tuvo una variación porcentual de 37,93%, debido a que los inversores toman la decisión de vender sus acciones por lo que la tendencia de los precios será a bajar. Posterior a este periodo para los meses de junio y julio se evidencio un pico alcista donde en promedio, el precio de las acciones se situó en un rango de entre \$10,000 COP y \$10,700 COP, lo que evidencia la influencia y actividad significativa que el Grupo tiene en el mercado de valores (BVC, 2021).

7.1 Aplicación del modelo de Markowitz

En este apartado se inicia con el modelo Markowitz, el cual es fundamental para la investigación y la formulación de los resultados de la investigación. Para esto primero es necesario calcular la rentabilidad diaria para cada una de las acciones analizadas mediante la siguiente fórmula:

$$R_i = \frac{\text{valor del dia} - \text{valor del dia anterior}}{\text{valor del dia anterior}}$$

Posteriormente, se calcula el rendimiento promedio mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$R_i = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}$$

Después, se procede a encontrar la varianza con la siguiente ecuación:

$$\sigma_i^2 = \sum_{i=1}^M P_{ij} (R_{ij} - \underline{R}_j)^2$$

Por último, procedemos a calcular el riesgo para cada acción con la próxima fórmula:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_i^2}$$

Teniendo en cuenta las anteriores ecuaciones se hallan los siguientes resultados para cada empresa analizada:

Tabla 1.

Datos individuales para cada acción.

	Ecopetrol	Celsia	Nutresa	Aval	Argos
Retorno esperado	-0,03%	-0,05%	0,15%	-0,11%	-0,02%
Varianza	0,08%	0,03%	0,14%	0,05%	0,13%
Riesgo histórico	2,89%	1,85%	3,81%	2,26%	3,59%

Nota: Se registran los datos comparativos para las acciones durante en los años 2020 a 2022 (datos tomados de la BVC). Fuente: elaboración propia.

En la tabla 1 se puede ver que las acciones que presenta un mayor riesgo son Ecopetrol con un porcentaje de 2,89% y un retorno de -0,03%, Nutresa con un riesgo de 3,81% y retorno de 0,15% que serían los retornos esperados más altos del portafolio creado y Grupo Argos con un nivel de riesgo de 3.59% y retornos de -0,02%. Con respecto a Celsia se observa que a pesar de que su nivel de riesgo no es muy alto siendo de 1,85% el retorno esperado es uno de los más bajos de los encontrados con un porcentaje de -0,05% y por último Grupo Aval presenta un riesgo de 2,26% con un retorno esperado de -0,11% siendo el más bajo encontrado en el portafolio. De lo anterior se puede decir que los efectos de la pandemia y la crisis económica de este periodo tuvo repercusión en el sector financiero.

De lo analizado anteriormente se puede concluir que la acción que tuvo mayor retorno esperado fue Nutresa con un 0,15% pero con un riesgo histórico 3,81%, la cual en comparación con el resto de las acciones que componen el portafolio se aleja del porcentaje promedio. Además, según la información de la tabla, los activos más riesgosos son Nutresa, Grupo Argos y aquellos que se mantienen en el promedio son Ecopetrol, Celsia y Grupo Aval.

A continuación, se analizará la combinación de los activos para formar la cartera de inversión,⁷ empleando la siguiente fórmula:

$$\sigma_{A,B} = E\{(R_{A_j - \underline{R}_A})(R_{B_j - \underline{R}_B})\}$$

Esta fórmula nos permitirá hallar la matriz de covarianza que se utiliza en el modelo de Markowitz, permitiendo la interacción entre los activos financieros, esto posibilita comparar cada una de las acciones y de sus riesgos, con sus respectivos retornos esperados, multiplicando entre sí la información de cada una de las acciones se obtiene un promedio ponderado de las probabilidades, lo que revela cómo se mueven en conjunto las rentabilidades de las cinco empresas seleccionadas (Dueñas, Prieto, y Sánchez, 2017).

⁷ Los portafolios de inversión se pueden describir “como un conjunto de activos pertenecientes a un individuo o entidad. En su mayoría, estos portafolios están compuestos por diversos tipos de valores, como bonos, acciones, fondos mutuos, fondos de mercado monetario y fondos cotizados en bolsa” (Amezcuca y Celorio, 2012, p. 8).

La tabla siguiente incorpora y utiliza la información anterior con la matriz que contiene las varianzas y covarianzas.

Tabla 2.

Matriz de varianza – covarianza.

MATRIZ DE MARKOWITZ					
	<i>Ecopetrol</i>	<i>Celsia</i>	<i>Nutresa</i>	<i>Aval</i>	<i>Argos</i>
<i>Ecopetrol</i>	0,000828602	0,000104329	7,08293E-05	5,42154E-05	0,000223679
<i>Celsia</i>	0,000104329	0,000338854	4,43154E-06	4,60309E-05	0,000151383
<i>Nutresa</i>	7,08293E-05	4,43154E-06	0,001436034	1,61288E-05	0,0001384
<i>Aval</i>	5,42154E-05	4,60309E-05	1,61288E-05	0,000506519	9,60253E-05
<i>Argos</i>	0,000223679	0,000151383	0,0001384	9,60253E-05	0,001277804

Nota: Se muestran los datos tratados para comparación de las acciones. Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta la tabla anterior se puede decir que el portafolio no cumple con la característica de la diversificación⁸, ya que los valores de todas las acciones halladas son todos positivos.

El siguiente paso implica la creación de una cartera de inversión y la determinación de la distribución de porcentajes que proporcionará al inversor los rendimientos óptimos en relación con su nivel de riesgo, como sugieren Miera y Zubia (2002). Para llevar a cabo el análisis de los activos, se calculará la rentabilidad, el riesgo y la varianza, partiendo del supuesto de que la inversión se distribuirá de manera equitativa entre cada acción.

Tabla 3.

Matriz de ponderación.

MATRIZ DE PONDERACIONES					
<i>Ecopetrol</i>	<i>Celsia</i>	<i>Nutresa</i>	<i>Aval</i>	<i>Argos</i>	Total
20%	20%	20%	20%	20%	100%

Nota: Se registra la distribución porcentual para cada acción. Fuente: elaboración Propia.

⁸ Es importante destacar que, para lograr la diversificación en un portafolio, la covarianza debe ser de signo negativo.

Como se nota en la tabla anterior si se toman porcentajes en partes iguales en los datos estadísticos se encontrará que tanto la varianza, el riesgo y la rentabilidad del portafolio se mantienen estables o en un mismo nivel, tal como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4.

Datos estadísticos.

RESULTADOS	
Rentabilidad del portafolio	0,000105622
Varianza	0,000247949
Riesgo	0,015746387

Nota: Se registran resultados de la distribución porcentual. Fuente: elaboración propia.

Para concluir la implementación del modelo y formar un portafolio óptimo, se deben satisfacer dos criterios fundamentales. El primero implica la minimización del riesgo, lo que conduce a la creación de una cartera de riesgo mínimo. El segundo criterio consiste en maximizar el rendimiento, lo que se conoce como la construcción de un portafolio de alto rendimiento (Dueñas, Prieto y Sánchez, 2017).

7.2 Portafolio de mínimo riesgo

En este apartado se pretende hallar la óptima combinación de elementos o carteras que tengan el menor riesgo para el inversor, para esto se usó el programa de *Excel Solver*. Este instrumento primero toma la varianza del portafolio y minimiza los valores cambiando las celdas de colaboración de la inversión de los múltiples activos que componen la cartera. Además, es necesario recalcar que dada las características del estudio es necesario que el programa esté sujeto a una restricción la cual es: que la suma de los porcentajes de inversión de todos los activos sea igual a 100% (Dueñas, Prieto y Sánchez, 2017). A continuación, se presentan los resultados de lo anterior.

Tabla 5.

Cartera de mínimo riesgo.

MATRIZ DE PONDERACIONES					
<i>Ecopetrol</i>	<i>Celsia</i>	<i>Nutresa</i>	<i>Aval</i>	<i>Argos</i>	Total
13%	45%	11%	30%	1%	100%

Nota: Se registra la distribución porcentual para cada acción. Fuente: elaboración Propia.

Basándonos en los datos de la Tabla 5, se puede concluir que, según el modelo de Markowitz, si un inversor busca formar un portafolio de riesgo mínimo, deberá asignar un 45% del capital total a la inversión en Celsia.

Tabla 6.

Datos estadísticos de la cartera de mínimo riesgo.

RESULTADOS	
Rentabilidad del portafolio	0,000408751
Varianza	0,000180929
Riesgo	0,013450985

Nota: Se registran resultados de la distribución porcentual. Fuente: elaboración Propia.

Con los datos anteriores podemos ver que la rentabilidad del portafolio es de 0,04%, la varianza del portafolio 0,000180929 y en términos del riesgo del portafolio es de 0,013450985 siendo una cartera con bajo riesgo, debido a que se desvía del promedio.

7.3 Portafolio de máximo riesgo

A diferencia de la cartera anterior, el objetivo de esta es identificar la acción que ofrezca el rendimiento más alto. Para lograr esto, se utilizó nuevamente la herramienta Excel Solver, que maximiza el valor de los retornos mediante la modificación de las celdas que representan el porcentaje de inversión en las distintas acciones del portafolio. Al igual que en la sección anterior, esta optimización está sujeta a la restricción de que la suma de los porcentajes de inversión en las acciones debe ser igual al 100% (Dueñas, Prieto, y Sánchez, 2017). A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 7.

Cartera de máximo riesgo.

MATRIZ DE PONDERACIONES					
<i>Ecopetrol</i>	<i>Celsia</i>	<i>Nutresa</i>	<i>Aval</i>	<i>Argos</i>	Total
0%	0%	100%	0%	0%	100%

Nota: Se registra la distribución porcentual para cada acción. Fuente: elaboración Propia.

Los datos de la Tabla 7 indican que, si un inversor busca formar una cartera de riesgo máximo, deberá destinar la totalidad de su capital a la empresa Nutresa.

Tabla 8. *Datos estadísticos de la cartera de mínimo riesgo.*

RESULTADOS	
Rentabilidad del portafolio	0,001480051
Varianza	0,001436034
Riesgo	0,037895034

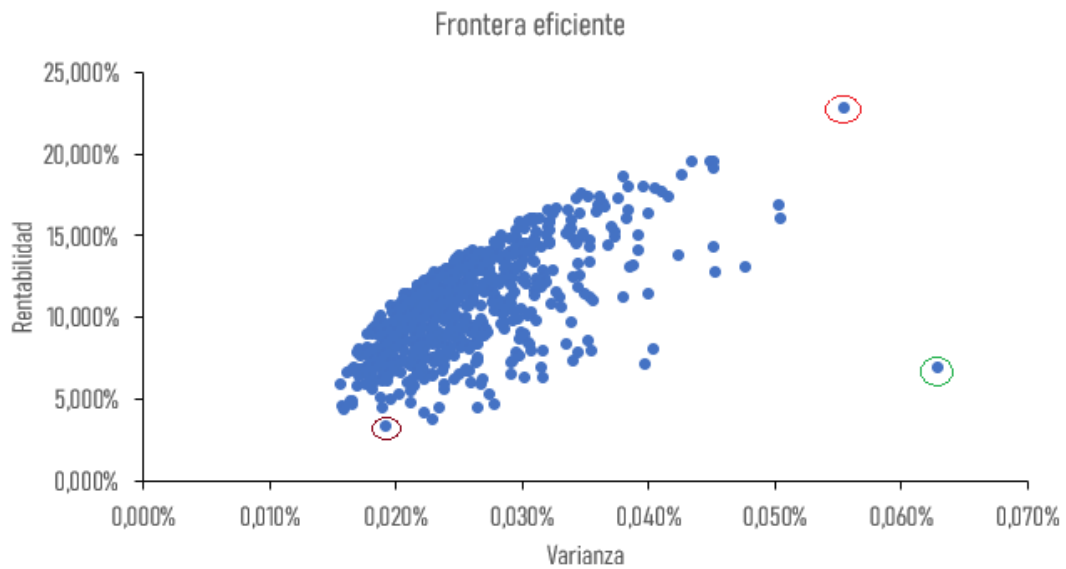
Nota: Se registran resultados de la distribución porcentual. Fuente: elaboración Propia.

Teniendo en cuenta la información anterior en la tabla 8 la rentabilidad del portafolio es de 0,15%, la varianza de la cartera es de 0,001436034 y en términos de riesgo la cifra es de 0,037895034, siendo un portafolio con mucho riesgo cuando se aplica en términos de maximizar los retornos.

7.4 Frontera eficiente

Figura 6.

Frontera eficiente de Markowitz.



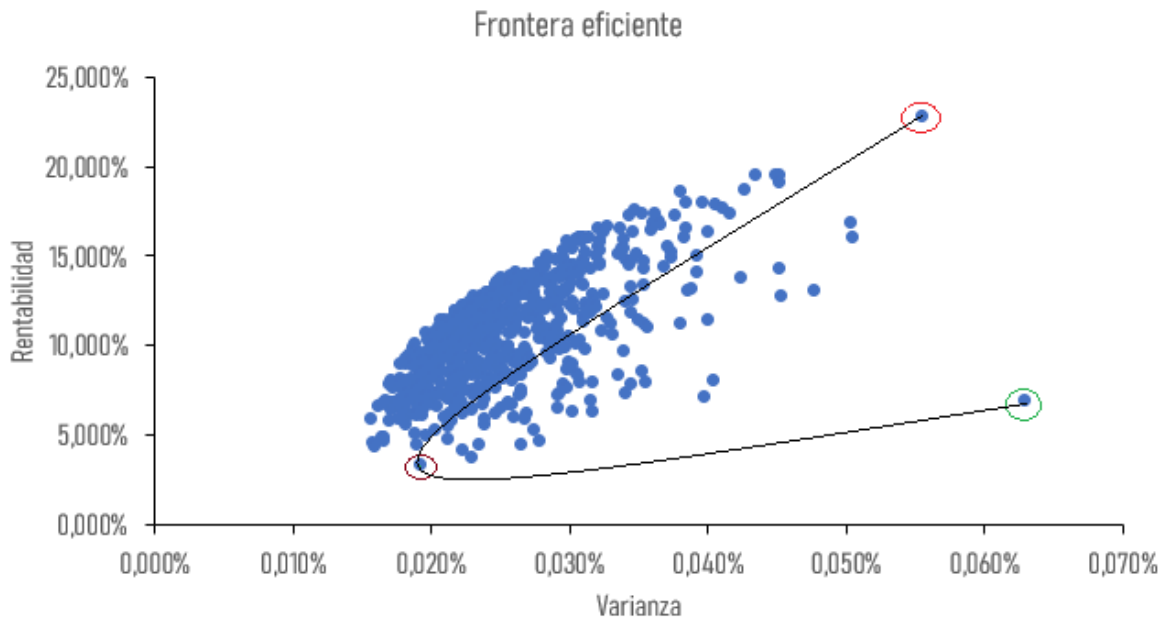
Nota: Se registran los diferentes niveles de rentabilidad. Fuente: elaboración propia.

En el gráfico anterior se puede ver la frontera eficiente brindada por el modelo de Markowitz, donde esta nos brinda información sobre los diferentes niveles y representaciones de rentabilidad respecto al riesgo de las empresas analizadas. En esta figura son importantes 3 puntos; el primero punto señalado en color rojo nos muestra el punto de máxima rentabilidad, sin embargo, a pesar de que es un punto muy favorable conlleva un gran riesgo o en otras palabras su varianza es muy elevada. El siguiente punto es el más bajo encontrado en la gran gráfica señalado con una tonalidad café donde a pesar que su varianza o riesgo son bajos representan una rentabilidad igual de pequeña; este es mejor conocido como el punto de mínima varianza. Por otro lado, tenemos el punto más alejado del gráfico señalado en color verde que representa la cartera menos preferida o la que tiene la probabilidad más baja de ser elegida, esto dado a que posee un riesgo elevado y una rentabilidad muy baja.

Además, si unimos los puntos anteriores mencionados encontramos de manera gráfica la frontera eficiente de Markowitz la cual tiene forma de U, esto se muestra en el siguiente gráfico.

Figura 7.

Frontera eficiente de Markowitz.



Nota: Se registran los diferentes niveles de rentabilidad. Fuente: elaboración propia.

Dentro de las numerosas carteras potenciales que se encuentran en la frontera eficiente, el modelo Markowitz tiene la capacidad de identificar, para cada nivel de rendimiento, aquellas que presentan la menor volatilidad o, en su opuesto, para cada nivel de volatilidad, aquellas que generan el máximo rendimiento, lo que permite mejorar la asignación de recursos en un portafolio de inversión. Al analizar las combinaciones en el modelo, se evidencia que la desviación estándar del portafolio es significativamente alta, lo que indica una considerable volatilidad en los rendimientos de las acciones.

7.5 Modelación de la metodología GARCH

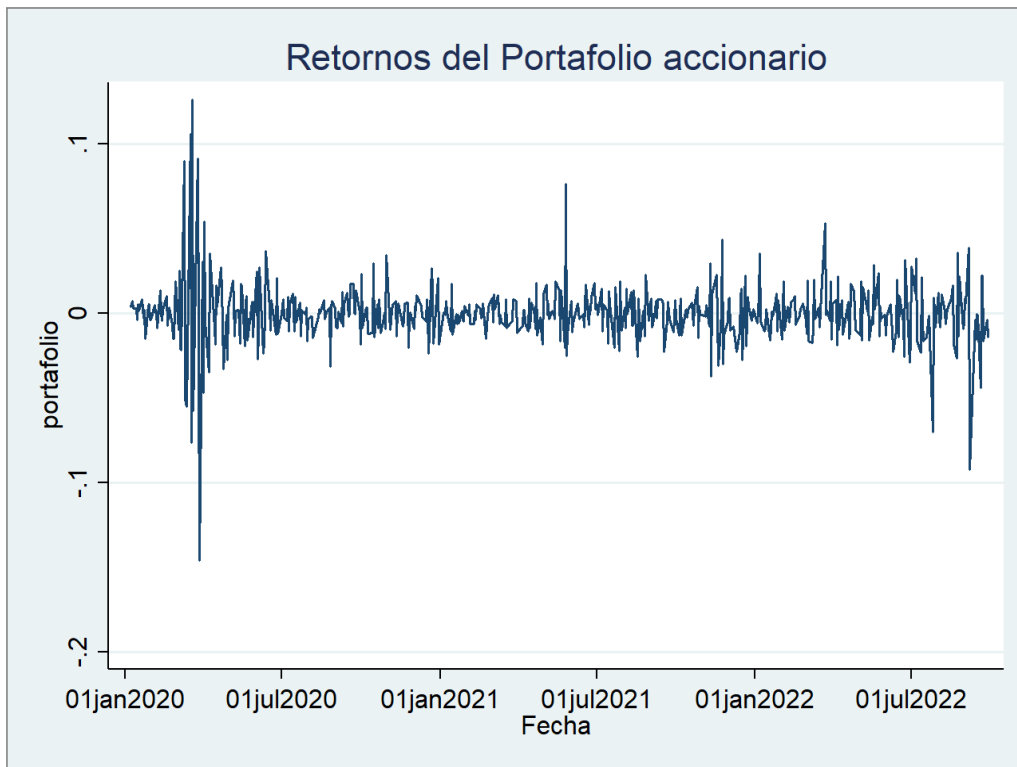
En este apartado se tendrá en cuenta la información suministrada en los resultados en el modelo de Markowitz para plasmar la información en los diferentes gráficos y poder llegar al modelo GARCH, el cual ayudará a mirar qué tan volátil y riesgoso es el portafolio conformado por las acciones seleccionadas en el periodo pandémico.

Los siguientes resultados son previos para desarrollar el modelo GARCH, debido a que es necesario realizar pruebas gráficas para corroborar la estacionalidad del portafolio para las acciones seleccionadas. Para esto se procede a crear el portafolio para las variables accionarias, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el modelo de Markowitz y visualizados en la **Tabla 5**.

Para iniciar la configuración del modelo, se procederá con la primera prueba, que consiste en el gráfico de rendimientos. Este tipo de representación no solo facilita la evaluación de la estacionalidad, sino que también posibilita un análisis de la volatilidad de los rendimientos del portafolio.

Figura 8.

Retornos del portafolio accionario.



Nota: Se muestran los retornos durante los años 2020 a 2022 (Datos tomados de la BVC). Elaboración propia.

En la **Figura 8**, podemos realizar varias observaciones. Lo primero que se puede examinar es la gran volatilidad para el año 2020 debido a la pandemia por el Covid-19, en este periodo se ve la gran fluctuación que tuvo el portafolio analizado, sin embargo, respecto a la estacionalidad la gran mayoría de los datos, dadas algunas excepciones se encuentran oscilando entre la media que en este caso sería el valor cero, por lo tanto, se puede decir que la cifras de la variable creada son estacionarias.

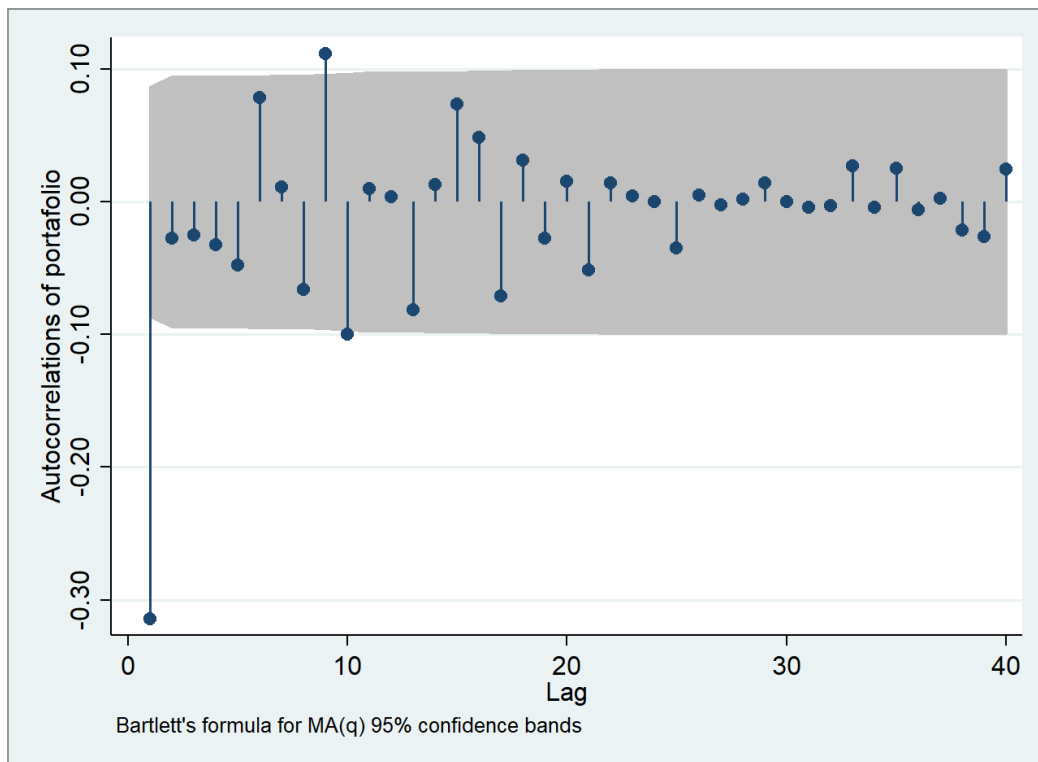
Continuando con las pruebas gráficas, la segunda para realizar es el correlograma⁹ Para el portafolio, este tipo de gráficos son útiles para observar qué tan relacionados están los

⁹ El correlograma es una herramienta ampliamente empleada para evaluar la presencia de patrones aleatorios en un conjunto de datos. La aleatoriedad se evalúa mediante el cálculo de autocorrelaciones en los valores de datos a lo largo de diferentes intervalos de tiempo.

datos, es decir ver que tan aleatorios son o que tanta volatilidad presentan, lo cual es fundamental para un análisis de riesgo accionario. En el gráfico se empleó la fórmula de Bartlett's a un nivel de confianza del 95 %.

Figura 9.

Autocorrelograma del portafolio accionario.



Nota: Se muestra la relación entre los datos. Fuente: elaboración propia.

En esta prueba gráfica se puede observar que la mayoría de los valores se encuentran dentro del nivel de confianza, de la “banda” o están autocorrelacionados¹⁰ dadas algunas distinciones y se mueven alrededor de la media, debido a estos datos excepcionales que sobrepasan el nivel de confianza establecido se puede decir que el portafolio no es estacionario.

¹⁰ La autocorrelación se refiere a una métrica que evalúa la relación entre los valores de una serie en el presente y los valores que tenía en momentos anteriores. Esta métrica nos muestra cuáles de los valores pasados de la serie son más relevantes para hacer predicciones sobre los valores futuros.

Tabla 9.

Correlograma del portafolio.

```
. corrgram portafolio
(note: time series has 144 gaps)
```

LAG	AC	PAC	Q	Prob>Q	-1	0	1	-1	0	1
					[Autocorrelation]			[Partial Autocor]		
1	-0.3143	-0.4579	51.363	0.0000						
2	-0.0278	-0.4172	51.764	0.0000						
3	-0.0248	-0.1599	52.086	0.0000						

Nota: Se muestra la correlación entre los datos. Fuente: elaboración propia.

La siguiente prueba gráfica es un correlograma, esta herramienta es ampliamente empleada para verificar la falta de patrones predecibles en un conjunto de datos. Esta falta de patrones se establece al calcular las relaciones entre los valores de los datos en distintos intervalos de tiempo mediante la autocorrelación. En un correlograma, el eje horizontal generalmente representa los diferentes retardos o intervalos de tiempo, mientras que el eje vertical muestra los valores de autocorrelación. La autocorrelación mide la similitud entre los valores de la serie de tiempo en un momento dado y los valores en momentos anteriores a lo largo de la serie.

En la tabla se pueden observar varias autocorrelaciones en los datos, en el primer intervalo se observan dos salidas que se están transfiriendo al siguiente periodo, es decir que los valores están relacionados entre sí a medida que pasa el tiempo, debido a esto se puede decir que la serie no es estacionaria.

Terminadas las pruebas gráficas se procederá a realizar las pruebas formales para comenzar la estructuración del modelo, lo primero que se debe mirar es si las series que se están utilizando son estacionarias con pruebas formales para el modelo GARCH, es decir, si presentan estabilidad alrededor de un valor fijo¹¹ a lo largo del periodo escogido, para lo cual se utilizarán dos pruebas de estacionalidad para cada una de las variables. La prueba de Dickey-Fuller y la prueba de Phillips-Perron.

La primera prueba (Dickey-Fuller) es la encargada de identificar la presencia de una raíz unitaria en los datos de series temporales. La existencia de raíces unitarias puede tener un

¹¹ Para efectos de la investigación este valor fijo será la media.

impacto impredecible en el análisis de series temporales. En la prueba de raíz unitaria, se formula una hipótesis nula que busca evaluar el grado en que los datos de la serie temporal están influenciados por una tendencia. Al aceptar la hipótesis nula, estamos reconociendo que los datos de la serie temporal no son estacionarios, lo que quiere decir es que la media en mayor a cero, sin embargo, esta prueba presenta un pequeño inconveniente cuando hay autocorrelación. Por otro lado, al rechazar la hipótesis nula o aceptar la hipótesis alternativa, estamos encontrando evidencia de que los datos de la serie temporal se generan a partir de un proceso estacionario, también conocido como tendencia estacionaria.

Tabla 10.

Prueba Dickey-Fuller

```
. dfuller dEC  
  
Dickey-Fuller test for unit root           Number of obs   =      372  
  
              Test                               Interpolated Dickey-Fuller  
              Statistic                         1% Critical     5% Critical     10% Critical  
              Value                             Value           Value           Value  
-----  
Z(t)          -29.313                          -3.450          -2.875          -2.570  
-----  
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000  
  
. dfuller dCE  
  
Dickey-Fuller test for unit root           Number of obs   =      372  
  
              Test                               Interpolated Dickey-Fuller  
              Statistic                         1% Critical     5% Critical     10% Critical  
              Value                             Value           Value           Value  
-----  
Z(t)          -38.251                          -3.450          -2.875          -2.570  
-----  
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000
```

```
. dfuller dNU
```

```
Dickey-Fuller test for unit root          Number of obs   =       372
```

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(t)	-36.267	-3.450	-2.875	-2.570

```
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000
```

```
. dfuller dAVAL
```

```
Dickey-Fuller test for unit root          Number of obs   =       372
```

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(t)	-32.819	-3.450	-2.875	-2.570

```
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000
```

```
. dfuller dAR
```

```
Dickey-Fuller test for unit root          Number of obs   =       372
```

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(t)	-29.701	-3.450	-2.875	-2.570

```
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000
```

Nota: Se registran resultados de la prueba de Dickey-Fuller. Fuente: elaboración propia.

En la anterior figura se pueden observar los resultados de esta prueba para cada una de las series accionarias trabajadas. Se percibe que el p-value para todos los conjuntos es de 0.0000, lo que implica que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Esto indica que las series son estacionarias, debido a que los datos están oscilando alrededor de la media.

Continuando con la prueba de Phillips-Perrón, se utiliza en el análisis de series temporales para evaluar si una serie de tiempo tiene una raíz unitaria. Esta prueba se basa en

la prueba de Dickey-Fuller, donde se utiliza el operador en la hipótesis nula. Al igual que la prueba de Dickey-Fuller, la prueba de Phillips-Perron aborda un problema común en el que el proceso que genera los datos podría tener un orden de autocorrelación mayor al que se permite, lo cual resuelve el problema que presenta la prueba de Dickey-Fuller. La prueba de Phillips-Perron realiza una corrección en la estadística de la para abordar esta cuestión.

Tabla 11.

Test de Phillips-Perron

```
. pperron dEC  
  
Phillips-Perron test for unit root          Number of obs   =   372  
                                           Newey-West lags =    5  
  
           _____ Interpolated Dickey-Fuller _____  
           Test          1% Critical   5% Critical   10% Critical  
           Statistic    Value         Value         Value  
-----  
Z(rho)    -480.069        -20.398       -14.000       -11.200  
Z(t)       -32.017         -3.450        -2.875        -2.570  
-----  
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000  
  
. pperron dCE  
  
Phillips-Perron test for unit root          Number of obs   =   372  
                                           Newey-West lags =    5  
  
           _____ Interpolated Dickey-Fuller _____  
           Test          1% Critical   5% Critical   10% Critical  
           Statistic    Value         Value         Value  
-----  
Z(rho)    -544.022        -20.398       -14.000       -11.200  
Z(t)       -43.331         -3.450        -2.875        -2.570  
-----  
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000
```

. pperron dNU

Phillips-Perron test for unit root Number of obs = 372
 Newey-West lags = 5

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller		
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(rho)	-460.149	-20.398	-14.000
Z(τ)	-42.395	-3.450	-2.875

MacKinnon approximate p-value for Z(τ) = 0.0000

. pperron dAVAL

Phillips-Perron test for unit root Number of obs = 372
 Newey-West lags = 5

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller		
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(rho)	-480.688	-20.398	-14.000
Z(τ)	-36.062	-3.450	-2.875

MacKinnon approximate p-value for Z(τ) = 0.0000

. pperron dAR

Phillips-Perron test for unit root Number of obs = 372
 Newey-West lags = 5

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller		
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(rho)	-480.993	-20.398	-14.000
Z(τ)	-33.283	-3.450	-2.875

MacKinnon approximate p-value for Z(τ) = 0.0000

Nota: Se registran resultados de la prueba de Phillips-Perron. Fuente: elaboración propia.

En la anterior figura se pueden observar los resultados de esta prueba para cada una de las series accionarias trabajadas. Se percibe que el p-value para todos los conjuntos es de 0.0000, por lo cual podemos decir que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa lo que nos dice que las series son estacionarias.

Posteriormente y sabiendo que la serie es estacionaria gracias a las pruebas aplicadas se procede a ejecutar el modelo GARCH basado en la data verificada. Lo anterior se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 12.

Modelo Garch

```

Sample: 08jan2020 - 28sep2022, but with gaps      Number of obs   =       517
Distribution: Gaussian                             Wald chi2(.)    =         .
Log likelihood = 1425.431                          Prob > chi2     =         .

```

portafolio	OPG		z	P> z	[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.				
portafolio _cons	.0004971	.0004756	1.05	0.296	-.0004352	.0014293
ARCH						
arch L1.	.6128965	.0623201	9.83	0.000	.4907513	.7350416
garch L1.	.3008251	.0561846	5.35	0.000	.1907052	.4109449
_cons	.000035	.0000117	2.99	0.003	.0000121	.0000579

```

.
end of do-file

```

```

. do "C:\Users\vale2\AppData\Local\Temp\STD02000000.tmp"

```

```

. estat ic

```

Akaike's information criterion and Bayesian information criterion

Model	Obs	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC
.	517	.	1425.431	4	-2842.862	-2825.87

Nota: Se registran resultados del modelo GARCH. Fuente: elaboración propia

En la tabla proporcionada, se detallan los valores correspondientes tanto a un modelo ARCH como a nuestro modelo GARCH, el cual será utilizado en nuestro análisis. Como mencionamos previamente, el modelo GARCH desempeña un papel fundamental en la predicción de la volatilidad en los mercados financieros, en la gestión de riesgos y en la

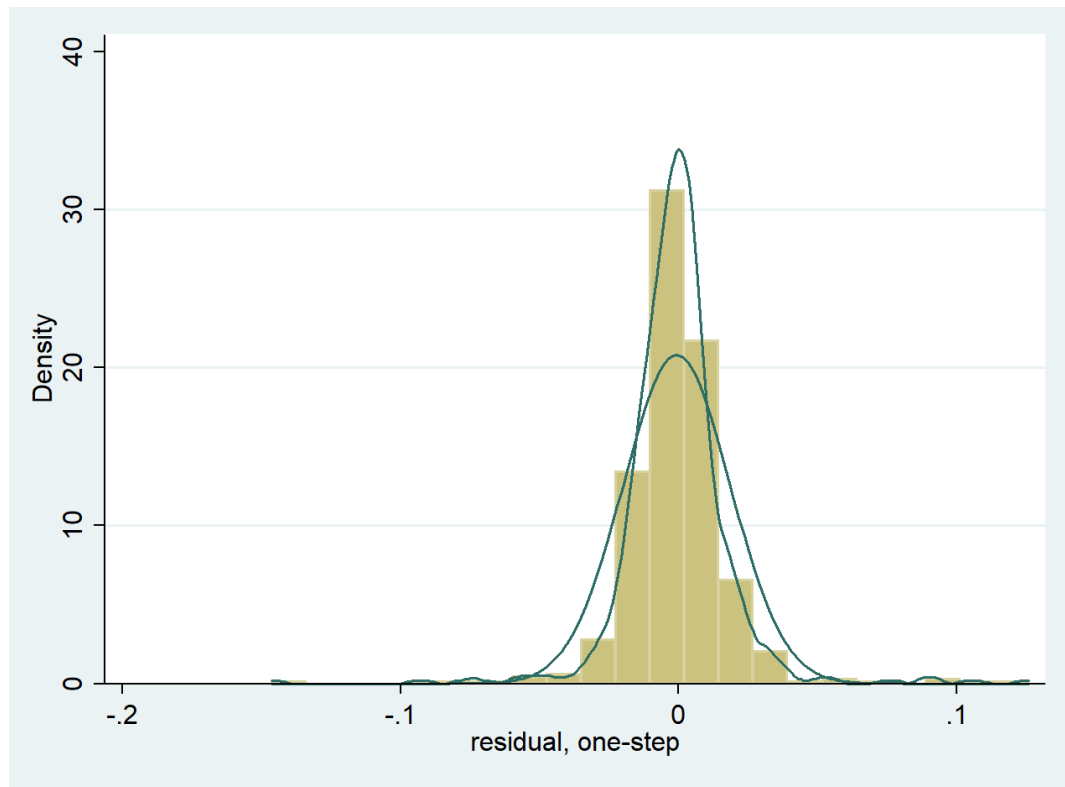
valoración de opciones, entre otros aspectos financieros. Este modelo es esencial para capturar la dinámica cambiante de la volatilidad en las series temporales y para ofrecer estimaciones precisas. Esto tiene un papel crítico en la toma de decisiones en el ámbito financiero y económico.

Es destacable que en ambos modelos, el valor p es estadísticamente significativo, con un valor de 0.000 en ambas instancias. Sin embargo, los resultados apuntan a que el modelo GARCH proporciona una explicación más efectiva para el comportamiento del portafolio. Esta conclusión se basa en los datos presentados en la Tabla 11, donde tanto el coeficiente como la desviación estándar muestran valores más bajos. Específicamente, el error estándar, que mide la volatilidad o el riesgo del portafolio, es de 0.561846, y el coeficiente es de 0.3008251. Esto indica que el modelo GARCH ofrece una mejor explicación de la volatilidad de los datos.

El siguiente paso en nuestros resultados implica la validación del modelo a través de la estimación de errores, lo cual se representa en la figura siguiente.

Figura 10.

Histograma Modelo GARCH.



Nota: Se muestra la similitud del modelo GARCH con una función normal. Fuente: elaboración propia.

Para evaluar los errores del modelo, se emplea un histograma¹² que compara los datos obtenidos con el modelo GARCH, como se detallan en la Tabla 11, frente a los datos de una distribución normal. Se observa que los datos generados por el modelo GARCH muestran similitudes o se asemejan a la distribución normal y abarcan todos los valores reales identificados previamente. Además, se aprecia que la media es idéntica tanto en el modelo como en la distribución, lo cual es un hallazgo positivo, ya que confirma de manera visual que el modelo GARCH es efectivo para medir la volatilidad de todo el portafolio construido.

¹² Es un gráfico que representa la distribución de frecuencia de un conjunto de datos. En él, se observa cómo los valores de una variable se distribuyen en intervalos o clases. Este tipo de gráfico es útil para visualizar la forma y estructura de la distribución de datos, y ofrece información sobre la tendencia central, la dispersión y la presencia de valores inusuales.

Sin embargo, como se mencionó previamente que el modelo se asemeja a una distribución normal, se esperaría que los errores fueran cercanos o iguales a cero. Para evaluar esta hipótesis, se recurrirá a una prueba estadística, en este caso, se emplea la prueba de Portmanteau.

Tabla 13.

Test de Portmanteau

Portmanteau test for white noise			
Portmanteau (Q) statistic	=		87.0125
Prob > chi2(40)	=		0.0000

Nota: Se registra el resultado de la prueba estadística. Fuente: elaboración propia.

La prueba de Portmanteau, también llamado Test Q de Ljung-Box o Test de Box-Pierce, es una herramienta estadística empleada en el análisis de series temporales con el propósito de determinar si los residuos de un modelo muestran autocorrelaciones significativas. Su utilidad principal radica en la capacidad de identificar si los errores de un modelo de series temporales se asemejan al azar (ruido blanco) o si exhiben patrones de correlación, lo que podría sugerir que el modelo no ha logrado capturar eficazmente la estructura de la serie.

En la Tabla 12, se confirma que el resultado de la prueba es cero, lo que respalda la presencia de ruido blanco¹³ en los residuos. Esto implica que el modelo se ajusta de manera similar a una distribución normal, ya que los residuos se comportan de manera aleatoria y sin patrones diferentes.

Para finalizar con la ejecución del modelo se procede a pronosticar algunos datos. Con la base que tenemos del modelo, se añadirán 30 datos de un modelo de autocorrelación y un modelo de ruido blanco conocido como “Media móvil” para el portafolio creado, teniendo en cuenta que la autocorrelación puede estar explicada por una o dos diferencias, y que los

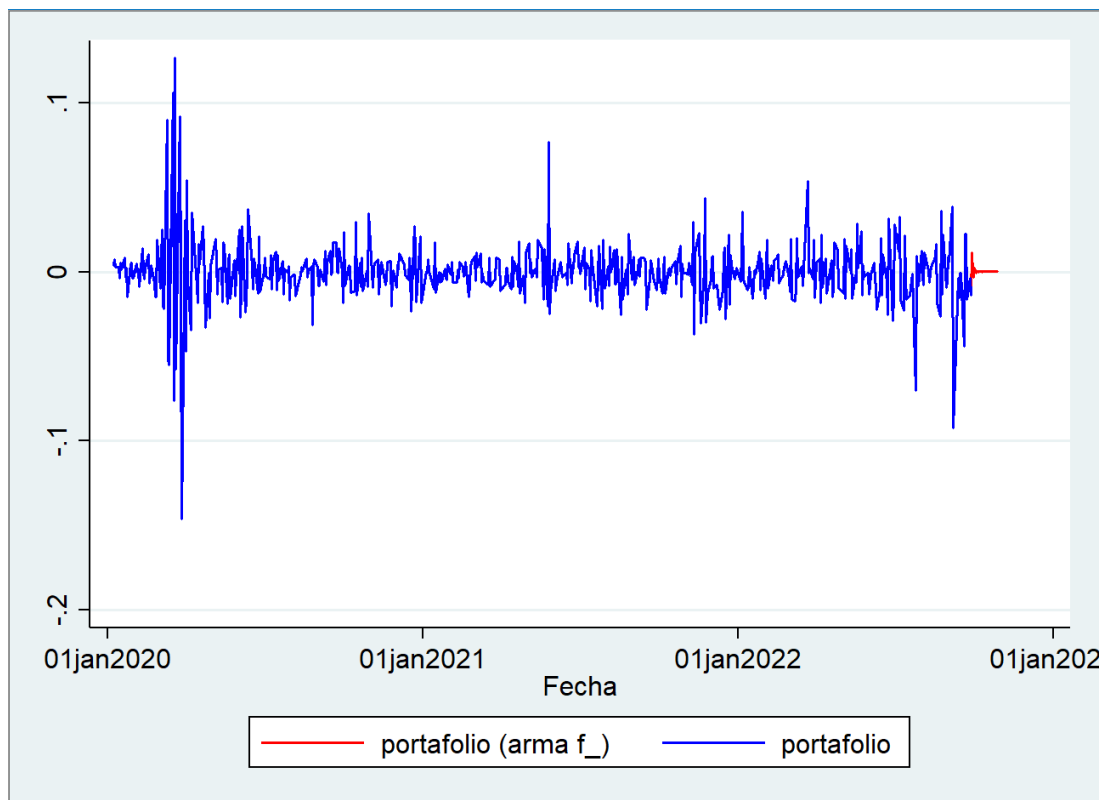
¹³ Se utiliza en estadísticas y procesos estocásticos para describir un tipo de señal aleatoria en la que los valores en diferentes momentos (o puntos) son independientes y tienen igual varianza.

errores pueden oscilar entre una o dos desviaciones. Teniendo esto en cuenta, se crea un nuevo modelo con los datos a estimar y aparte se genera un modelo ARMA a partir de la autocorrelación y los errores, para que se reemplacen en el modelo que busca predecir los 30 nuevos valores.

El resultado de lo anterior se muestra en la siguiente figura, donde en color azul tenemos los datos del portafolio y en color rojo se nos presenta los valores que el modelo predijo.

Figura 11.

Pronosticación de valores.



Nota: Se muestra la estimación realizada por el modelo GARCH. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 11 se observa que los valores estimados en color rojo por el modelo corresponden a la volatilidad del portafolio y que estos mismos valores se mueven de manera similar o igual al portafolio, por lo tanto, se puede decir que la data creada con base al GARCH inicial es un modelo predictivo. Lo anterior resulta muy eficiente en el ámbito

económico y financiero, ya que es una herramienta crucial para la planificación y la toma de decisiones. Esto puede incluir proyecciones sobre el crecimiento económico, la inflación, el desempleo, el comercio internacional, los tipos de interés, el gasto del consumidor, la inversión, entre otros indicadores económicos. Dado que el futuro es incierto, a menudo se presentan en forma de escenarios o rangos de posibles resultados. Esto refleja la variabilidad y la incertidumbre asociada con las proyecciones de este tipo.

8. Conclusiones

Las variadas metodologías empleadas para evaluar la volatilidad del portafolio en análisis en Colombia durante el período de la pandemia se convierten en un recurso de gran utilidad para los inversionistas. Esto les permite analizar su nivel de exposición al riesgo y a la volatilidad al invertir su capital en el mercado colombiano. Además, les facilita la toma de decisiones fundamentadas, ya que, al comparar la volatilidad y los riesgos a través de diversas técnicas, se logra una aproximación a la metodología más pertinente para evaluar estas series.

Dentro de este contexto, la investigación realizada ofrece elementos que posibilitan la comprensión de un período caracterizado por una significativa volatilidad en Colombia durante el análisis. Esta volatilidad estuvo estrechamente vinculada al acontecimiento crítico a nivel mundial representado por la pandemia del COVID-19. Las medidas políticas, económicas y financieras implementadas por los distintos gobiernos a nivel global para contener la propagación del COVID-19 también impactaron significativamente en el mercado colombiano. Dichas medidas generaron cambios notables no sólo en términos de riesgo, sino también en cuanto al desempeño de las acciones, que comenzaron a mostrar signos de recuperación y estabilización en sus valores y precios tras el período bajo análisis.

El portafolio conformado por las acciones de Ecopetrol, Celsia, Nutresa, Grupo Aval y Cementos Argos, empresas líderes en el país, no se ajusta a las condiciones del principio de maximización de la rentabilidad. El portafolio de mínima varianza, determinado por el modelo de Markowitz, asigna un 13% a Ecopetrol, 45% a Celsia, 11% a Nutresa, 30% a Grupo Aval y 1% a Grupo Argos. Esto revela una asignación significativa a una empresa con bajos niveles de rentabilidad y alto riesgo, en contraste con el principio de máxima rentabilidad, que sugiere invertir el 100% en Nutresa. Sin embargo, el análisis de Markowitz

indica que alcanzar el máximo rendimiento implica asumir un mayor riesgo, mientras que la mínima varianza implica obtener menores rendimientos. El portafolio presenta un riesgo del 56,18% (0.561846) según el modelo GARCH, mostrando una notable volatilidad. Es crucial señalar que el periodo considerado en el estudio se caracterizó por bajos rendimientos debido al bajo crecimiento del PIB a nivel global y nacional, la llegada del virus Covid-19, incertidumbre y falta de confianza, la caída del petróleo, entre otros factores externos. Los resultados obtenidos generan preocupación, ya que sugieren que la mayoría de las principales empresas en Colombia analizadas en este trabajo pueden no ser óptimas para la inversión debido al alto riesgo del mercado accionario.

No obstante, a pesar de estos eventos, uno de los principales resultados reveló que el portafolio conformado por las acciones cotizantes en el COLCAP se recuperó de manera veloz tras los impactos de la pandemia. Además, el modelo aplicado demostró ser eficaz en la captura de la volatilidad de estas variables en el mercado bursátil. Se observa una clara tendencia hacia la estabilización en el portafolio analizado, gracias a las restricciones y políticas implementadas para controlar la propagación del COVID-19. Esto ha permitido la estabilización de la economía y de los indicadores en los últimos meses. Este descubrimiento proporciona a los inversionistas la información necesaria para tomar decisiones fundamentadas, considerando que las series han recuperado su estabilidad y la relación entre riesgo y rendimiento se ha restablecido.

En relación con el análisis realizado del modelo GARCH, se llega a la conclusión de que este modelo posee la capacidad de anticipar la volatilidad en un horizonte de tiempo corto y medio para una acción, o en nuestro caso particular, para un portafolio compuesto por un conjunto de estas. Por lo tanto, al estimar el modelo GARCH, se utilizaron datos históricos con el fin de obtener estimaciones precisas de los rendimientos y riesgo esperado del portafolio. Es relevante resaltar que el proceso que condujo a la obtención de un modelo de pronóstico eficaz, y que reconoce que la variación es distinta para cada observación, se basó en el modelo GARCH. Este modelo considera el efecto de apalancamiento, lo que implica que después de períodos de elevada volatilidad inesperada en el mercado, es probable que se suceden ciclos con características similares, y por ende también habrá épocas que tiendan hacia la estabilidad en el mercado.

En última instancia, se puede afirmar que esta investigación aporta de manera efectiva a la literatura existente sobre diversos enfoques para calcular la volatilidad de las

acciones que cotizan en el COLCAP. Sin embargo, la relevancia de estos métodos varía según la metodología empleada, al mismo tiempo que se demuestra que en respuesta a las fluctuaciones en los rendimientos causadas por factores de mercado, sociales o económicos, surgen incertidumbres en el ámbito político y económico, que conllevan a cambios frecuentes en la volatilidad de los activos.

9. Recomendaciones

1. Se recomienda que el inversionista tenga en cuenta las múltiples variables que puedan mover o tambalear el rendimiento de un activo, además de realizar constantes verificaciones del comportamiento del mercado accionario.
2. Para este tipo de análisis, se aconseja emplear la teoría de carteras discutida en la sección teórica, ya que facilita la obtención de resultados más precisos y, por consiguiente, contribuye a la toma de decisiones más informada.
3. Para futuras investigaciones, se recomienda considerar la evaluación de mercados emergentes distintos y de otras variables macroeconómicas que faciliten el análisis de correlaciones entre diversos indicadores.
4. Además, se sugiere ampliar el estudio para incluir la composición de índices bursátiles, en lugar de enfocarse únicamente en la evaluación de la volatilidad de activos en el mercado colombiano. Asimismo, se podría explorar la existencia de posibles relaciones entre esta volatilidad y los indicadores financieros.

10. Referencias

Álvarez Piedrahita, I. (2009). *Finanzas estratégicas y creación de valor*. Financial Publishing. <https://www.ecoediciones.mx/wp-content/uploads/2016/09/Finanzas-estrat%C3%A9gicas-y-creaci%C3%B3n-de-valor-5ta-Edici%C3%B3n.pdf>

Bedoya, A. y Gómez Ramírez, J. S. (2019). Elaboración de un portafolio de inversión de empresas del sector de hidrocarburos a través del análisis técnico y la teoría de portafolio de Markowitz.

<https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/2456/RosaBedoyaSerpa-JackelineG%c3%b3mezRamirez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bordo, M. D. (1985, abril). Some historical evidence 1870-1933 on the impact and international transmission of financial crises, *National Bureau of Economic Research*. 1-42. https://www.nber.org/system/files/working_papers/w1606/w1606.pdf

Cáceres, J. A. (2009, enero-abril). Colombia ante la crisis financiera global. *Revista Escuela de Administración de Negocios (EAN)*, (65), 5–30.

<https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revista/article/view/458/449>

Calvo, J. (2021). La demanda del consumidor. Innovauned.es. Recuperado de: http://ocw.innova.uned.es/ocwuniversia/diplomado_en_ciencias_empresariales/microeconomia-i/pdf/l4demanda.pdf

Chavarro, M. J. (2013). Impacto de la crisis financiera Internacional del 2008 en el sector real colombiano.

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/10826/ChavarroMoralesJuanCamilo2013.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

De Lara Haro, A. (2005). *Medicion y control de riesgos fianancieros*. Editorial Limusa.

https://www.academia.edu/23346886/Medicion_y_Control_de_Riesgos_Financieros_Alfonso_de_Lara_Haro

Díaz, G. (2010). Los riesgos del mercado y su incidencia en los portafolios de inversiones de las economías domésticas.

https://fce.unal.edu.co/media/files/documentos/Doctorado/Tesis/Tesis_Gustavo_Daz.pdf

Dueñas, A., Prieto, K., y Sánchez, J. (2017). Análisis de rentabilidad y riesgo de un portafolio de inversión, aplicando el modelo de Harry Markowitz.

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/899d9485-a033-4b38-a8a4-ccb780c17e77/content>

Ecopetrol. (2014). Acerca de Ecopetrol.

<https://nuevoportal.ecopetrol.com.co/wps/portal/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienessomos/acerca-de-ecopetrol/nuestra-historia>

Engle, R., Bollerslev, T. (1986). *Modelling the persistence of conditional variances* *Econometric Reviews*, Volume 5, pag. 1 – 5.

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07474938608800095>

Eslava Castaneda, C., García Sierra, M., y Bernal Olaya, S. (2017). Dudas y desasosiego ante la epidemia de gripa en Bogotá 1918. *Americania Revista De Estudios Latinoamericanos*, (6), 110–135.

<https://www.upo.es/revistas/index.php/americania/article/view/2327/2327>

Gitman, J. (2003). *Principios de administración financiera*. Pearson educación.

https://economicas.unsa.edu.ar/afinan/informacion_general/book/pcipios-adm-finan-12edi-gitman.pdf

Glick, R., Hutchison, M. (1999). “Banking and currency crises: how common are twins?”, UCSC Dept. of Economics Working Paper, 488: 1-41.

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/126445/TESIS.pdf?sequence=1&isA>

Graham, B., y Dodd, D. (1934). *Security Analysis*. Casa Whittlesey.

<https://riosmauricio.com/wp-content/uploads/2020/12/Security-Analysis-en-espanol.pdf>

Gutiérrez, R. (1986, abril-junio). La recesión económica mundial de los años setenta y ochenta en el marco de las oscilaciones del ciclo Kondratieff. *Investigación Económica*, 45(176), 81-108. <https://biblat.unam.mx/hevila/Investigacioneconomica/1986/no176/6.pdf>

Gysel Amezcua, H. J. y Samano Celorio, M. A. (2012). *Teoría del Riesgo y Selección de un Portafolio de Inversión*. [Tesis de Pregrado, Universidad de las Américas Puebla (UDLAP)]. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lat/gysel_a_hj/

Jaramillo Echeverri, J., Meisel Roca, A. y Ramírez-Giraldo, M. (2016). La Gran Depresión en Colombia: un estímulo a la industrialización, 1930-1953. *Cuadernos de Historia Económica y Empresarial*, (39). Banco de la República.

https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/chee_39.pdf

Legis, E. (2022). Legis. Recuperado de

<https://blog.legis.com.co/comercioexterior/importancia-exportacion-petroleo-colombia>

Leiva Büchi, R. (2009). Riesgos financieros después de la crisis subprime. *Contabilidad y Negocios: Revista Del Departamento Académico de Ciencias Administrativas*, 4(8), 18–22.

<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/contabilidadyNegocios/article/view/932/900>

Loaiza, A. (2019). CELSIA vendió el 100% de su participación en Zona Franca CELSIA S.A. Diario La República. <https://www.larepublica.co/empresas/CELSIA-vendio-el-100-de-su-participacion-en-zonafranca-CELSIA-sa-2894514>

Markowitz Harry, Marz. (1952). Portfolio Selection, *The Journal of Finance*, vol 7 No.1 pp 77-91.

https://www.math.hkust.edu.hk/~maykwok/courses/ma362/07F/markowitz_JF.pdf

Marichal, C. (2013). *Nueva historia de las grandes crisis financieras: una perspectiva global, 1873-2008*. Debate. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=-Td_AAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=Carlos+Marichal,+Nueva+historia+de+las+grandes+crisis+financieras.+Una+perspectiva+global,+1873-2008&ots=ykk2OrjL08&sig=sF9nEQ5edWsaC6-aeuH6-MRtSFE#v=onepage&q=Carlos%20Marichal%2C%20Nueva%20historia%20de%20las%20grandes%20crisis%20financieras.%20Una%20perspectiva%20global%2C%201873-2008&f=false

Martínez, J. (2010). El PIB (per cápita) como indicador de sostenibilidad. *Boletín de estudios económicos*, pag 1. <https://bee.revistas.deusto.es/issue/view/279/161>

Martínez Martín, A., Manrique Abril, F., y Meléndez Álvarez, B. (2007). La pandemia de gripa de 1918 en Bogotá. *Dynamis*, 27, 287–307.

<https://core.ac.uk/download/pdf/13272971.pdf>

Miera, L., y Zubia, M. (2002). El modelo de Markowitz en la gestión de carteras. Working Paper. <https://core.ac.uk/download/pdf/6565186.pdf>

Mishkin, F. (1991). “Anatomy of financial crisis”, National Bureau of Economic Research Working Paper, 3934: 1-24.
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/126445/TESIS.pdf?sequence=1&isA>

Pérez de Villareal, J., M. (2010). La Economía Mundial en los años ochenta y la Política Económica de los noventa. Ekoomiaz, (20), 200–217.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=2048>

Real Academia Española. (s.f.). Volatilidad. En Diccionario de la lengua española. Recuperado en 6 de abril de 2023, de <https://dle.rae.es/cultura?m=form>

Rincón Prada, F., y González Bueno, J. (2016). Efectos de la crisis financiera internacional de 2008 en el desempeño de las bolsas de valores de Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México y Perú. Finance, Markets and Valuation,2(2), 1–19.
<https://journalfmv.com/resources/revista/2016/2/BolsasLatam.pdf>

Romero, Y., y Ramírez, F. (2013). Mercado Integrado Latinoamericano (MILA): análisis de correlación y diversificación de los portafolios de acciones de los tres países miembros en el período 2007-2012. Revista Javeriana, 14(34), 53–74.
<https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cuacont/article/view/6067>

Ruiz, M. (2020). Grupo Nutresa informó sobre los riesgos derivados de la pandemia del Covid-19. Larepublica.co. Recuperado de: <https://www.larepublica.co/empresas/grupo-nutresa-informo-sobre-los-riesgosderivados-de-la-pandemia-del-covid-19-2994775>

Sanahuja, J. (2010). Crisis y cambio en la sociedad global. In Icaria Editorial (Ed.), Crisis y cambio en la sociedad global (pp. 27–62). <https://ceipaz.org/wp-content/uploads/2020/05/0.Completo2009-2010.pdf>

Schularick, M., y Taylor, A. (2009). “Credit booms gone bust: monetary policy, leverage cycles and financial crises, 1870-2008”, National Bureau of Economic Research-Working Paper, 15512:1-36. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.102.2.1029>

Sharpe, William. (1964). “*Capital Assets Prices: a theory of market under conditions of risk*” Journal of finance no. 19 1964 pp. 425-442.

Sosa, M, Ortiz, E, y Cabello, A (2017). Crisis financiera global y su impacto en la dinámica bursátil europea y americana. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 12(3), 1–27. Recuperado de <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Tobin, J. (1958). “Liquidity Preference as Behavior Towards Risk. “Review of Economics Studies” February 1958, 25 pp 65-86. <https://academic.oup.com/restud/article-abstract/25/2/65/1550009?redirectedFrom=fulltext>

Tornero Martínez, D. (2017). Análisis del modelo de Markowitz y aplicación en el IBEX 35. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/67947/1/Analisis_del_modelo_de_Markowitz_y_aplicacion_TORNERO_MARTINEZ_DIEGO_DAVID.pdf

Thompson, I. (2007). Definición de organización. *Promonegocios. net*. <https://www.promonegocios.net/empresa/concepto-organizacion.html>

Vergara, J., y Cervantes, M. (2012). Portafolios de inversión: una alternativa para el aprovechamiento de los recursos remanentes de tesorería. <https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/bf1bee26-faba-4edd-9c55-0513bb0f6712/content>

Von Hagen, J., Tai-kuang, H. (2003). “Twin crises: A reexamination of empirical links”, Center for European Integration Studies, University of Bonn: 1-20. <https://ideas.repec.org/r/eee/moneco/v32y1993i3p363-394.html>

Zárate Perdomo, J., Cobo Serna, A., y Gómez, J. (2000). Lecciones de las crisis financieras recientes para diseñar y ejecutar la política monetaria y la financiera en Colombia. In *Flujos de capitales, choques externos y respuestas de política en países emergentes* (pp. 645–674). <https://repositorio.banrep.gov.co/handle/20.500.12134/6651>

Zuberlúa, A., Zalbalza, L., y Zubiaurre, M. (2002). El modelo Markowitz en la gestión de carteras. https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/7000/CdG_212.pdf?sequence=1&isAllowed=y

11. Anexos

Declarar la serie de tiempo

tsset Fecha

Variables son estacionarias

***Gráfica

tsline Ecopetrol, title("Variación histórica de la acción Ecopetrol")

tsline Celsia, title("Variación histórica de la acción Celsia")

tsline Nutresa, title("Variación histórica de la acción Nutresa")

tsline Aval, title("Variación histórica de la acción Aval")

tsline Argos, title("Variación histórica de la acción Argos")

ac Ecopetrol

ac Celsia

ac Nutresa

ac Aval

ac Argos

/// Parecen ser NO ser estacionarias////

***** 2 PASO : TRANSFORMAR LA SERIE EN ESTACIONARIA

///Pasar la serie a diferencias: Es decir con un periodo de rezago en el tiempo.

/// El valor del retorno hoy es producto del retorno de ayer.

gen dEC= d.Ecopetrol

gen dCE= d.Celsia

gen dNU= d.Nutresa

gen dAVAL= d.Aval

gen dAR = d.Argos

Transformando la serie en estacionarias**

tsline dEC, title("Gráfico retornos de Ecopetrol")

tsline dCE, title("Gráfico retornos de Celsia")

tsline dNU, title("Gráfico retornos de Nutresa")

tsline dAVAL, title("Gráfico retornos de Aval")

tsline dAR, title("Gráfico retornos de Argos")

ac dEC

ac dCE

ac dNU

ac dAVAL

ac dAR

///// Parecen ser estacionarias/////

***Pruebas de estacionariedad

***Se rechaza H0: Serie NO es estacionaria

dfuller dEC

dfuller dCE

dfuller dNU

dfuller dAVAL

dfuller dAR

//El resultado muestra un p-value igual a 0.00000

//se rechaza la hipótesis nula y se acepta la Ha: La serie es estacionaria.

* Phillips y Perron

*H0: la serie es NO estacionaria (RAIZ UNITARIA)

pperron dEC

pperron dCE

pperron dNU

pperron dAVAL

pperron dAR

//se rechaza la hipótesis nula y se acepta la Ha: La serie es estacionaria.

dfuller dAVAL

pperron dAVAL

////Como las series son estacionarias se crea un portafolio

generate portafolio = dEC*0.13+dAR*0.01+dAVAL*0.30+dCE*0.45+dNU*0.11

***** PRIMER PASO : ANALIZAR LA ESTACIONARIEDAD

**** Pruebas Graficas:

// si la gráfica fluctúa alrededor de un valor fijo>> Estacionaria

tsline portafolio

//como varios "palitos" estan fuera del nivel de confianza>>NO estacionario

***** PRIMER PASO: ANALIZAR LA ESTACIONARIEDAD

**** Pruebas Graficas:

```

// si la grafica fluctua al rededor de una valor fijo>> Estacionaria
tsline portafolio, title("Retornos del Portafolio accionario")

//como varios "palitos" estan fuera del nivel de confianza>>NO estacionario
ac portafolio

pac portafolio

corrgram portafolio

/// El modelo MA(1) AR(1,2)

*AC--> orden de MA(q)

*PAC ---> orden de AR(p)

///Modelo GARCH

*tenemos que hacer combinaciones

arch portafolio, arch(1/1) garch(1/1)

estat ic

***** 4 PASO : VALIDAR EL MODELO GARCH *****

*estimar los Errores del modelo

predict errores1, residual

histogram errores1, normal kdensity

*      test de Portmanteau

*H0: el error es ruido blanco

wntestq errores1

*****5 PASO : PRONOSTICAR *****

```

tsappend, add(30) //adicionar valores a pronosticar

arima portafolio, ar(1 2) ma(1)

estimates store modelo1

forecast create arma, replace

forecast estimates modelo1

forecast describe

forecast solve

twoway (tsline f_portafolio, lcolor(red)) (tsline portafolio, lcolor(blue))