



---

**Universidad de Valladolid**

FACULTAD DE CIENCIAS

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Estadística y Grado en Ingeniería Informática

**Optimización de Carteras de Inversión en Materias  
Primas**

Autor: Pablo Martín Martín  
Tutor: Ricardo Josa Fombellida



*Dedicado a todas y cada una de las personas  
que me han hecho llegar hasta donde estoy hoy en día,  
en especial a mi familia y amigos*

*"El precio es lo que pagas.  
El valor es lo que obtienes."  
Warren Buffett*



# Índice

<b>Resumen:</b> .....	7
<b>Abstract:</b> .....	8
<b>1. Introducción</b> .....	9
<b>1.1. Antecedentes y justificación del estudio</b> .....	9
<b>1.2. Objetivos y alcance del trabajo</b> .....	10
<b>1.3. Estructura del documento</b> .....	11
<b>2. Revisión de literatura</b> .....	13
<b>2.1 Teoría moderna de la cartera de Harry Markowitz</b> .....	13
<b>2.2 Aplicaciones previas de optimización de carteras en materias primas</b> .....	13
<b>2.3 Factores específicos que afectan la inversión en materias primas</b> .....	14
<b>3. Materias primas como clase de activo</b> .....	17
<b>3.1 Tipos de materias primas y su clasificación</b> .....	17
<b>3.2 Rendimientos, riesgos y correlaciones de las materias primas</b> .....	18
<b>3.3 Diversificación y la función de las materias primas en una cartera de inversión</b> ..	19
<b>4. Metodología y adaptación del modelo de Markowitz a materias primas</b> .....	21
<b>4.1. Marco Matemático sobre el Modelo de Harry Markowitz</b> .....	21
<b>4.2. Identificación y selección de materias primas</b> .....	22
<b>4.3. Conjunto de datos</b> .....	23
<b>4.4. Análisis descriptivo de las materias primas</b> .....	24
<b>4.3. Análisis de correlación</b> .....	40
<b>4.4. Herramientas y Software utilizados para la optimización</b> .....	41
<b>5. Análisis de datos y resultados</b> .....	44
<b>5.1. Cartera del sector agricultura</b> .....	44
5.1.1. Carteras notables .....	45
5.1.2. Comparación de carteras .....	45
<b>5.2. Carteras del sector metales</b> .....	46
5.2.1. Carteras notables .....	46
5.2.2. Comparación de carteras .....	47
<b>5.3. Cartera del sector energía</b> .....	47
5.3.1. Carteras notables .....	47
5.3.2. Comparación de carteras .....	48
<b>6. Conclusiones</b> .....	50

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>52</b>
<b>APÉNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>54</b>

## Resumen:

En este Trabajo de Fin de Grado, se aborda la optimización de carteras de inversión en materias primas mediante la aplicación del modelo de Markowitz y la Teoría Moderna de la Cartera. Se realiza un análisis exhaustivo de la relevancia de las materias primas como clase de activo, examinando sus características de rendimiento, riesgo y correlación.

El estudio se enfoca en adaptar la metodología de optimización de Markowitz a las particularidades de las materias primas. Para ello, se lleva a cabo una selección rigurosa de materias primas y un análisis descriptivo de cada una de ellas. Se estiman los rendimientos y riesgos asociados a cada materia prima utilizando diversas métricas, incluyendo volatilidad, Valor en Riesgo (VaR), CVaR y retorno ajustado al riesgo.

Los resultados de la optimización de la cartera se presentan a través de un análisis detallado de datos y se comparan con otras estrategias de inversión, como carteras de riesgo mínimo, máxima rentabilidad y máximo ratio de Sharpe.

Finalmente, se discuten las implicaciones prácticas de la investigación, sus limitaciones y se proponen futuras líneas de investigación. Este trabajo proporciona información valiosa para inversores interesados en diversificar sus carteras con materias primas, contribuyendo al campo de las finanzas cuantitativas.

**Palabras clave:** Optimización de carteras, inversión en materias primas, modelo de Markowitz, Teoría Moderna de la Cartera, rendimiento de materias primas, riesgo de materias primas, correlación de materias primas, volatilidad, Valor en Riesgo (VaR), CVaR (Conditional Value at Risk), retorno ajustado al riesgo, diversificación de carteras, finanzas cuantitativas, análisis descriptivo, estrategias de inversión, cartera de riesgo mínimo, cartera de máxima rentabilidad, cartera de máximo ratio de Sharpe, asignación de activos, clase de activo, frontera eficiente, gestión del riesgo

## **Abstract:**

In this Thesis, the optimization of investment portfolios in commodities is addressed through the application of the Markowitz model and Modern Portfolio Theory. A comprehensive analysis of the relevance of commodities as an asset class is conducted, examining their performance, risk, and correlation characteristics.

The study focuses on adapting the Markowitz optimization methodology to the particularities of commodities. To this end, a rigorous selection of commodities is carried out, followed by a descriptive analysis of each one. The returns and risks associated with each commodity are estimated using various metrics, including volatility, Value at Risk (VaR), CVaR, and risk-adjusted return.

The results of the portfolio optimization are presented through a detailed data analysis and compared with other investment strategies, such as minimum risk, maximum return, and maximum Sharpe ratio portfolios.

Finally, the practical implications of the research, its limitations, and suggestions for future research are discussed. This work provides valuable information for investors interested in diversifying their portfolios with commodities, contributing to the field of quantitative finance.

**Keywords:** Portfolio optimization, commodities investment, Markowitz model, Modern Portfolio Theory, commodities performance, commodities risk, commodities correlation, volatility, Value at Risk (VaR), CVaR (Conditional Value at Risk), risk-adjusted return, portfolio diversification, quantitative finance, descriptive analysis, investment strategies, minimum risk portfolio, maximum return portfolio, maximum Sharpe ratio portfolio, asset allocation, asset class, efficient frontier, risk management



# 1. Introducción

En los últimos años, las materias primas han cobrado protagonismo en el escenario financiero internacional. Esta clase de activo, que abarca una amplia gama de productos desde metales preciosos hasta productos agrícolas y energéticos, ha despertado el interés de inversores y economistas por igual. Su atractivo radica en su capacidad para servir como instrumento de diversificación, su potencial de retorno y su utilidad como protección contra la inflación. Sin embargo, las inversiones en materias primas vienen con su propia cuota de volatilidad y riesgo, lo que plantea la necesidad de técnicas sofisticadas de gestión de carteras. El presente estudio se sitúa en este contexto y explora cómo las técnicas modernas de optimización de carteras pueden aplicarse al ámbito de las materias primas.

## 1.1. Antecedentes y justificación del estudio

Para comprender la importancia de este estudio, es esencial repasar brevemente la historia de la inversión en materias primas y la evolución de la teoría de la gestión de carteras. La inversión en materias primas, que incluye una variedad de bienes físicos como metales, energía y productos agrícolas, ha sido una parte integral del comercio y la economía mundial desde tiempos inmemoriales. Sin embargo, en las últimas décadas, las materias primas han adquirido un nuevo papel como una importante clase de activos en el ámbito de las inversiones financieras.

A medida que el entorno económico mundial se ha vuelto más complejo y volátil, los inversores han buscado formas de diversificar sus carteras más allá de las acciones y los bonos tradicionales. En este contexto, las materias primas han emergido como una opción atractiva debido a su bajo nivel de correlación con otras clases de activos, su potencial de rendimiento y su utilidad como cobertura contra la inflación y el riesgo del mercado.

La Teoría Moderna de la Cartera (MPT), desarrollada por Harry Markowitz en 1952, ha proporcionado un marco sólido para el manejo y la diversificación de las carteras de inversión. La MPT sugiere que los inversores pueden minimizar el riesgo de su cartera y maximizar el retorno esperado a través de una selección diversificada de activos. El enfoque se basa en la correlación entre los activos y sugiere que una cartera eficiente es aquella que ofrece el máximo rendimiento esperado para un nivel dado de riesgo. Esta teoría ha sido fundamental en la inversión en acciones y bonos y ha dado forma a la forma en que los inversores y los administradores de carteras consideran la diversificación y el equilibrio entre el riesgo y el rendimiento.

Sin embargo, a pesar de la popularidad de la MPT en otras áreas de inversión, su aplicación en el campo de las materias primas ha sido menos explorada. Esto puede deberse a varias razones. Primero, las materias primas, a diferencia de las acciones y los bonos, son bienes físicos que están sujetos a una serie de factores de oferta y demanda únicos, como las condiciones climáticas, las políticas gubernamentales y las tensiones geopolíticas. Estos factores pueden dar lugar a una volatilidad significativa en los precios de las materias primas, lo que plantea desafíos para su inclusión en las carteras de inversión.

Además, las materias primas pueden requerir consideraciones de almacenamiento y logística, lo que puede aumentar la complejidad y los costos de la inversión. A pesar de estos desafíos,

la creciente importancia de las materias primas como una clase de activos viable y rentable en la economía global no puede ser ignorada.

Aquí es donde reside la justificación para este estudio. Dada la importancia creciente de las materias primas y la relativa escasez de estudios que aplican la MPT a esta clase de activos, existe una necesidad de explorar en profundidad cómo se pueden aplicar los principios de la MPT a las inversiones en materias primas. Esto incluye comprender las particularidades de las materias primas como clase de activos, desarrollar métodos para estimar sus rendimientos y riesgos y adaptar las técnicas de optimización de carteras a estas peculiaridades. Al hacerlo, este estudio tiene el potencial de proporcionar valiosos conocimientos y herramientas para los inversores y administradores de carteras que buscan diversificar y optimizar sus inversiones en materias primas.

## **1.2. Objetivos y alcance del trabajo**

Este estudio tiene varios objetivos clave, los cuales se desarrollarán en detalle a continuación:

Objetivo 1: Explorar la aplicación de la Teoría Moderna de la Cartera a las inversiones en materias primas. Aunque la MPT se ha aplicado extensamente a las inversiones en acciones y bonos, su aplicación a las materias primas es menos común. Este estudio tiene como objetivo explorar cómo los principios de la MPT, incluyendo la diversificación y la optimización del equilibrio entre el riesgo y el rendimiento, pueden aplicarse a las inversiones en materias primas.

Objetivo 2: Desarrollar una metodología para la optimización de las carteras de materias primas. Este objetivo implica identificar las características únicas de las materias primas como clase de activos, incluyendo sus rendimientos, riesgos y correlaciones, y utilizar esta información para desarrollar un método de optimización de carteras que tenga en cuenta estas características.

Objetivo 3: Comparar la efectividad de la cartera de materias primas optimizada con otras estrategias de inversión. Esto requiere poner a prueba la metodología desarrollada y evaluar su utilidad en el mundo real. Esto se logrará mediante la comparación de la cartera de materias primas optimizada con otras estrategias de inversión en términos de rendimiento y riesgo.

En cuanto al alcance del estudio, es importante señalar que se centrará en las materias primas que se negocian comúnmente en los mercados internacionales. Estas incluyen, pero no se limitan a, los metales preciosos (como el oro y la plata), los productos energéticos (como el petróleo y el gas natural) y los productos agrícolas (como el trigo y el maíz).

Además, aunque este estudio tiene como objetivo proporcionar una metodología para la optimización de las carteras de materias primas, no pretende proporcionar asesoramiento de inversión específico. En cambio, la intención es proporcionar una herramienta y un marco de referencia que los inversores y los administradores de carteras pueden utilizar para tomar decisiones informadas y personalizadas basadas en sus propias circunstancias y tolerancias al riesgo.

Por último, aunque este estudio tiene como objetivo abordar una serie de complejidades asociadas con la inversión en materias primas, como las consideraciones de almacenamiento y logística y los factores macroeconómicos y geopolíticos que pueden afectar a los precios de las materias primas, no se trata de un análisis exhaustivo de todos los posibles factores que pueden

influir en las inversiones en materias primas. Es posible que haya otros factores relevantes que no se abordan en este estudio debido a limitaciones de tiempo y recursos.

### **1.3. Estructura del documento**

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) está estructurado de manera lógica y sistemática para permitir un flujo coherente de ideas y facilitar la comprensión de los conceptos presentados. A continuación, se describe brevemente la estructura del documento:

Capítulo 1: Introducción: Este capítulo inicial introduce el contexto y la relevancia del estudio. Describe los antecedentes y la justificación para investigar la aplicación de la Teoría Moderna de la Cartera a las inversiones en materias primas. Asimismo, define los objetivos y el alcance del estudio.

Capítulo 2: Revisión de la literatura: Este capítulo proporciona una revisión exhaustiva de la literatura académica existente en relación con la Teoría Moderna de la Cartera de Harry Markowitz, su aplicación a las inversiones en materias primas y los factores específicos que afectan a las inversiones en materias primas.

Capítulo 3: Materias primas como clase de activo: Aquí, se exploran en profundidad las materias primas como una clase de activos. Se analizan los diversos tipos de materias primas, se examinan sus rendimientos, riesgos y correlaciones y se discute la función de las materias primas en la diversificación de una cartera de inversión.

Capítulo 4: Metodología y adaptación del modelo de Markowitz a materias primas: En este capítulo se presenta la metodología de investigación. Se explica cómo se identifican y seleccionan las materias primas para el estudio, cómo se estiman sus rendimientos y riesgos y cómo se adapta el modelo de Markowitz a las particularidades de las inversiones en materias primas. También se detallan las herramientas y el software utilizados para la optimización de la cartera.

Capítulo 5: Análisis de datos y resultados: Este capítulo ofrece los resultados del análisis de datos y de la optimización de la cartera de materias primas. También presenta un análisis de sensibilidad y escenarios, así como una comparación de la cartera optimizada con otras estrategias de inversión.

Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones: El último capítulo resume los hallazgos clave del estudio y discute las implicaciones prácticas para los inversores y gestores de carteras. Asimismo, identifica las limitaciones del estudio y sugiere posibles direcciones para futuras investigaciones.

Este esquema se ha diseñado para llevar al lector a través de un proceso de descubrimiento lógico y detallado, comenzando con una revisión de la teoría y la literatura existente, seguido por una explicación detallada de las materias primas como clase de activos, la metodología del estudio, los resultados y, finalmente, las conclusiones y recomendaciones. Cada capítulo se apoya en el anterior para construir una comprensión integral de la optimización de carteras de inversión en materias primas.



## 2. Revisión de literatura

### 2.1 Teoría moderna de la cartera de Harry Markowitz

La Teoría Moderna de la Cartera (MPT, por sus siglas en inglés) es un marco conceptual introducido por el economista Harry Markowitz en 1952 que ha revolucionado la manera en que los inversores crean y manejan sus carteras de inversión.

Antes de Markowitz, los inversores solían centrarse en analizar y seleccionar los activos individuales con base en su rentabilidad potencial, pero sin considerar realmente cómo cada activo interactuaba con los demás dentro de una cartera. Markowitz propuso que los inversores debieran considerar tanto la rentabilidad esperada de los activos individuales como la correlación entre los rendimientos de los diferentes activos, es decir, cómo los rendimientos de un activo se mueven en relación con los de los demás.

De acuerdo con la MPT, los inversores pueden construir una cartera "eficiente" minimizando el riesgo para un rendimiento esperado dado o maximizando el rendimiento esperado para un nivel de riesgo dado. El riesgo aquí se mide típicamente por la desviación estándar de los rendimientos de la cartera, que es una medida de la volatilidad o variabilidad de los rendimientos. Markowitz introdujo el concepto de diversificación eficiente, argumentando que los inversores pueden reducir el riesgo de su cartera invirtiendo en una mezcla de activos que no están perfectamente correlacionados.

Este marco también introdujo el concepto de la "frontera eficiente", que es un gráfico que muestra las carteras óptimas que ofrecen el mayor rendimiento esperado para cada nivel de riesgo. La frontera eficiente permite a los inversores identificar y seleccionar la cartera que mejor se adapta a su nivel de tolerancia al riesgo y a sus expectativas de rendimiento.

Además, Markowitz desarrolló el modelo de optimización de cartera, también conocido como modelo de media-varianza, que es una técnica matemática para identificar la cartera en la frontera eficiente que proporciona la máxima utilidad para un inversor, dado su nivel de aversión al riesgo.

Es importante señalar que la MPT hace varias suposiciones, incluyendo que los inversores son racionales y buscan maximizar su utilidad (es decir, preferirán una cartera con mayor rendimiento esperado y menor riesgo), y que los rendimientos de los activos se distribuyen normalmente. Aunque estas suposiciones han sido cuestionadas, la MPT sigue siendo un marco fundamental en el campo de la gestión de carteras de inversión.

### 2.2 Aplicaciones previas de optimización de carteras en materias primas

Las materias primas, que incluyen bienes tangibles como el petróleo, el gas natural, los metales y los productos agrícolas, han despertado el interés de los inversores debido a su potencial de diversificación y su capacidad para actuar como cobertura contra la inflación. Aunque la Teoría Moderna de la Cartera se ha utilizado tradicionalmente para la optimización de carteras de acciones y bonos, su aplicación a las inversiones en materias primas ha sido un área de creciente interés y estudio.

En su estudio de 2006, Gorton y Rouwenhorst exploraron el papel de las materias primas como una clase de activos diversificadora. Examinaron los rendimientos de los contratos de futuros de materias primas de 1959 a 2004 y descubrieron que estos contratos proporcionaban un rendimiento equiparable al de las acciones, pero con un riesgo menor. También encontraron que los futuros de materias primas estaban ligeramente correlacionados o incluso des correlacionados con las acciones y los bonos, lo que indica un potencial de diversificación. Este estudio destacó el valor de las materias primas en una cartera de inversión y alentó a más inversores y académicos a explorar esta área.

Erb y Harvey (2006) realizaron un estudio en el que aplicaron la MPT a la inversión en oro. Descubrieron que la inclusión de oro en una cartera podría mejorar la eficiencia de la cartera, reduciendo el riesgo y/o aumentando el rendimiento, especialmente en períodos de alta inflación.

Büyüksahin, Haigh y Robe (2010) aplicaron la MPT a la optimización de carteras de futuros de materias primas. En su estudio, utilizaron los rendimientos de los contratos de futuros de 28 materias primas de 1991 a 2005. Encontraron que una cartera diversificada de futuros de materias primas podría generar un rendimiento de Sharpe superior al de las acciones y los bonos, lo que indica una mayor rentabilidad ajustada al riesgo.

Sin embargo, estos estudios también destacaron algunos de los desafíos únicos de la inversión en materias primas. Por ejemplo, las materias primas pueden ser más volátiles que otros tipos de activos debido a factores como las condiciones climáticas y los cambios geopolíticos. Además, la inversión en contratos de futuros de materias primas puede requerir un conocimiento técnico especializado, ya que estos contratos implican aspectos complejos como el apalancamiento y el rollover.

Estos estudios proporcionan una base para la exploración adicional de la aplicación de la MPT a las inversiones en materias primas y resaltan la necesidad de adaptar y ajustar la MPT para tener en cuenta las particularidades de las inversiones en materias primas.

## **2.3 Factores específicos que afectan la inversión en materias primas**

Las materias primas son un tipo de inversión única y presentan una serie de factores específicos que pueden afectar su valor. Estos factores pueden ser muy diferentes a los que afectan a otras clases de activos como las acciones y los bonos. Algunos de los factores más importantes a considerar al invertir en materias primas son:

### **1. Condiciones climáticas:**

Muchas materias primas, como los productos agrícolas y energéticos, son muy sensibles a las condiciones climáticas. Por ejemplo, la sequía, las inundaciones y las tormentas pueden afectar la producción agrícola, lo que a su vez puede tener un impacto significativo en los precios de estos productos. De manera similar, los inviernos extremadamente fríos pueden aumentar la demanda de gas natural y petróleo para la calefacción, lo que puede impulsar los precios al alza.

## 2. Cambios geopolíticos:

Las materias primas se extraen, se cultivan o se producen en diferentes regiones del mundo, y los cambios geopolíticos en estas regiones pueden tener un gran impacto en la disponibilidad y el costo de estas materias primas. Por ejemplo, los conflictos políticos, las guerras y las sanciones pueden interrumpir la producción de petróleo, lo que puede hacer subir los precios a nivel mundial.

## 3. Políticas económicas y regulatorias:

Las políticas gubernamentales también pueden influir en los precios de las materias primas. Por ejemplo, las decisiones de la OPEP sobre la producción de petróleo pueden afectar los precios globales del petróleo. Además, las políticas comerciales, como los aranceles y las cuotas, pueden influir en los precios de las materias primas. Las políticas medioambientales también pueden tener un impacto, por ejemplo, al aumentar la demanda de energías renovables y las materias primas necesarias para producirlas.

## 4. Macroeconomía y ciclos económicos:

Las materias primas pueden ser sensibles a las condiciones económicas generales. Durante los períodos de crecimiento económico, la demanda de materias primas tiende a aumentar, lo que puede aumentar los precios. Por el contrario, durante las recesiones, la demanda de materias primas puede disminuir, lo que puede hacer bajar los precios.

## 5. Inflación:

Las materias primas a menudo se ven como una cobertura contra la inflación. Cuando los precios de los bienes y servicios aumentan, los precios de las materias primas también pueden aumentar. Como resultado, los inversores a menudo aumentan sus inversiones en materias primas durante los períodos de alta inflación.

## 6. Oferta y demanda:

Al igual que con cualquier bien, los precios de las materias primas están en última instancia determinados por la oferta y la demanda. Cualquier cambio en la oferta o la demanda de una materia prima puede influir en su precio. Por ejemplo, el aumento de la demanda de energías limpias ha impulsado la demanda de litio, un componente clave de las baterías de los vehículos eléctricos, lo que ha hecho subir su precio.

Es importante destacar que estos factores pueden interactuar de formas complejas, y los inversores deben considerar un amplio rango de información al tomar decisiones sobre inversiones en materias primas.





### 3. Materias primas como clase de activo

Las materias primas representan una clase de activo que comprende bienes físicos o primarios que son intercambiables con otros bienes de la misma categoría. Las materias primas son fundamentales para nuestra vida diaria; forman la base de los alimentos que consumimos, la energía que usamos y una multitud de productos y servicios que nos rodean.

#### 3.1 Tipos de materias primas y su clasificación

1. Energía: Esta categoría de materias primas está compuesta principalmente por fuentes de energía utilizadas en todo el mundo para alimentar vehículos, calentar hogares y alimentar la producción industrial. Los tipos más conocidos de materias primas energéticas incluyen:

- **Petróleo Crudo:** Este es un producto natural que se utiliza para fabricar gasolina, diésel y otros productos. Los precios del petróleo crudo pueden variar según factores geopolíticos, cambios en la oferta y la demanda, y otros factores económicos.
- **Gas Natural:** Es una fuente de energía utilizada para la calefacción, la cocina y la generación de electricidad. El gas natural es abundante, especialmente en ciertas regiones como América del Norte y Rusia.
- **Gasolina:** Aunque es un derivado del petróleo, la gasolina a menudo se negocia como una materia prima separada.
- **Carbón:** A pesar de los esfuerzos por reducir su uso debido a las preocupaciones ambientales, el carbón sigue siendo una fuente de energía importante en muchos lugares del mundo.

2. Metales: Los metales se pueden subdividir en dos tipos principales: metales preciosos y metales industriales.

- **Metales Preciosos:** Incluyen metales como el oro, la plata, el platino y el paladio. Estos metales son valiosos por su rareza, su demanda en la joyería y su uso en ciertas aplicaciones industriales y tecnológicas.
- **Metales Industriales:** Este grupo incluye metales como el cobre, el níquel, el aluminio, el zinc, el plomo, entre otros. Estos metales son fundamentales para diversas industrias, desde la construcción hasta la producción de automóviles y electrónica.

3. Productos Agrícolas: Esta categoría incluye una variedad de productos que se cultivan en todo el mundo.

- **Cultivos de granos y oleaginosas:** Estos incluyen trigo, maíz, soja, arroz y otros granos que son fundamentales para la alimentación humana y animal.
- **Productos Soft:** Este subgrupo incluye commodities como el café, el cacao, el azúcar y el algodón. Estos productos son esenciales para la producción de alimentos y prendas de vestir.

4. Ganadería: En esta categoría se incluyen los productos derivados de los animales.

- Carne de Res y de Cerdo: Son esenciales para las dietas de muchas culturas y la demanda puede fluctuar según las tendencias alimentarias y los problemas de salud.
- Productos Lácteos: Como la leche y la mantequilla también son productos básicos importantes que forman parte de esta categoría.

## **3.2 Rendimientos, riesgos y correlaciones de las materias primas**

En esta sección, nos centraremos en la evaluación de tres aspectos críticos de las inversiones en materias primas: los rendimientos, los riesgos y las correlaciones con otras clases de activos.

### Rendimientos

El rendimiento de las inversiones en materias primas puede ser atractivo, en gran parte debido a la capacidad de estas inversiones para beneficiarse tanto de las tendencias alcistas como bajistas en los mercados de materias primas. Los inversores pueden obtener beneficios al comprar futuros de materias primas cuando anticipan que los precios aumentarán (una posición larga) o al vender futuros de materias primas cuando esperan que los precios bajen (una posición corta). Además, algunas inversiones en materias primas, como las acciones de empresas de materias primas, pueden generar ingresos a través de dividendos.

Sin embargo, los rendimientos también pueden ser extremadamente volátiles, ya que los precios de las materias primas pueden ser influenciados por una variedad de factores, desde condiciones climáticas hasta políticas gubernamentales y tensiones geopolíticas.

### Riesgos

Los riesgos asociados con las inversiones en materias primas también son considerables y pueden ser más altos que los de otras clases de activos como las acciones y los bonos. Algunos de los riesgos asociados con la inversión en materias primas incluyen:

- Riesgo de precio: Los precios de las materias primas pueden ser extremadamente volátiles y pueden fluctuar rápidamente debido a cambios en la oferta y la demanda, eventos geopolíticos, cambios en las políticas gubernamentales y otras condiciones económicas y de mercado.
- Riesgo de liquidez: Algunos contratos de futuros de materias primas pueden ser menos líquidos que otros, lo que puede dificultar la compra o venta de estos contratos sin afectar significativamente su precio.
- Riesgo de apalancamiento: Muchas inversiones en materias primas implican el uso de apalancamiento, lo que puede aumentar el potencial de ganancias, pero también puede magnificar las pérdidas.

### Correlaciones

Una característica importante de las materias primas es que tienden a tener una correlación baja o incluso negativa con otras clases de activos. Esto significa que los precios de las materias primas pueden moverse en direcciones diferentes a los de las acciones, los bonos u otros tipos de inversiones. Esta baja correlación puede ser beneficiosa para los inversores, ya que la adición de materias primas a una cartera de inversiones diversificada puede ayudar a reducir la volatilidad general de la cartera y a mejorar su rendimiento ajustado al riesgo.

### **3.3 Diversificación y la función de las materias primas en una cartera de inversión**

Las materias primas pueden desempeñar varias funciones dentro de una cartera de inversión, cada una de las cuales contribuye a su potencial para mejorar la diversificación y la rentabilidad de la cartera. Aquí profundizamos en estas funciones:

#### 1. Diversificación:

La diversificación es un concepto central en la gestión de inversiones que se basa en la idea de que "no hay que poner todos los huevos en una misma canasta". A nivel de inversión, se trata de asignar recursos a varios activos para reducir la exposición a cualquier riesgo individual. La diversificación es particularmente valiosa en las materias primas debido a su baja correlación con las acciones y los bonos, como se mencionó anteriormente. Esto significa que las materias primas a menudo se mueven en direcciones opuestas a estas otras clases de activos, lo que puede ayudar a suavizar los rendimientos de la cartera en general y a reducir la volatilidad.

#### 2. Protección contra la inflación:

Las materias primas a menudo se consideran una cobertura efectiva contra la inflación. La lógica detrás de esto es que, durante los períodos de alta inflación, los costos de las materias primas tienden a aumentar, lo que puede conducir a un aumento en los precios de los futuros de materias primas. Por lo tanto, tener una asignación a materias primas puede proteger el valor de la cartera contra la erosión del poder adquisitivo que puede resultar de la inflación.

#### 3. Potencial de rendimientos elevados:

Aunque invertir en materias primas puede ser riesgoso, también puede ser muy rentable. Los precios de las materias primas pueden experimentar cambios significativos en respuesta a eventos como las perturbaciones de la oferta, los cambios en las políticas gubernamentales y las fluctuaciones en la demanda global, y los inversores que pueden predecir con éxito estos cambios pueden obtener rendimientos considerables.

#### 4. Exposición a los mercados emergentes:

Muchos países en desarrollo son exportadores netos de materias primas, lo que significa que los precios de las materias primas pueden estar vinculados al crecimiento económico en estos países. Como resultado, invertir en materias primas puede proporcionar una forma de beneficiarse del crecimiento económico en los mercados emergentes.



## 4. Metodología y adaptación del modelo de Markowitz a materias primas

### 4.1. Marco Matemático sobre el Modelo de Harry Markowitz

El modelo de Markowitz se fundamenta en varios conceptos y herramientas matemáticas clave:

**Rendimiento esperado ( $E(R)$ ):**

$$[E(R_p) = \sum_{i=1}^n w_i E(R_i)]$$

donde  $E(R_p)$  es el rendimiento esperado de la cartera,  $w_i$  es la proporción de inversión en el activo  $i$ , y  $E(R_i)$  es el rendimiento esperado del activo  $i$ .

**Varianza de la cartera ( $\sigma_p^2$ ):**

$$[\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_{ij}]$$

donde  $\sigma_{ij}$  es la covarianza entre los activos  $i$  y  $j$ . Este término refleja cómo las variaciones en los rendimientos de los activos se correlacionan entre sí.

**Desviación Estándar de la Cartera ( $\sigma_p$ ):**

$$[\sigma_p = \sqrt{\sigma_p^2}]$$

la desviación estándar es una medida común de riesgo, representando la volatilidad de los rendimientos de la cartera.

**Frontera eficiente:**

La frontera eficiente es el conjunto de todas las carteras que ofrecen el mayor rendimiento esperado para un nivel dado de riesgo o el menor riesgo para un nivel dado de rendimiento esperado. Matemáticamente, se encuentra resolviendo el siguiente problema de optimización cuadrática:

$$[\min \frac{1}{2} w^T \Sigma w - \lambda E(R_p)]$$

sujeto a:

$$[\sum_{i=1}^n w_i = 1]$$

y

$$[w_i \geq 0 \quad \forall i]$$

donde  $\Sigma$  es la matriz de covarianza de los rendimientos de los activos, y  $\lambda$  es un parámetro que ajusta la aversión al riesgo del inversor.

### **Diversificación:**

La teoría de Markowitz demuestra que, debido a la correlación imperfecta entre los activos, es posible reducir el riesgo total de la cartera sin sacrificar rendimiento, mediante la combinación de activos cuyas variaciones en rendimientos no están perfectamente alineadas.

## **4.2. Identificación y selección de materias primas**

La identificación y selección de las materias primas para su inclusión en la cartera de inversión es un proceso crítico que puede tener un impacto significativo en los rendimientos de la cartera. Este proceso involucra varios pasos y se basa en una serie de criterios clave.

### Liquidez del mercado

Una de las consideraciones más importantes al seleccionar una materia prima para su inclusión en la cartera es la liquidez del mercado. En general, una mayor liquidez implica que hay un gran número de compradores y vendedores en el mercado, lo que facilita la entrada y salida de la inversión sin causar cambios significativos en el precio.

La liquidez se puede medir de varias maneras. Una opción es mirar el volumen de comercio, que es el número de unidades de la materia prima que se compran y venden en un período de tiempo dado. Un volumen de comercio más alto generalmente indica un mercado más líquido. Otro enfoque es mirar el spread de oferta y demanda, que es la diferencia entre los precios a los que los vendedores están dispuestos a vender y los compradores están dispuestos a comprar. Un spread más pequeño indica una mayor liquidez.

### Rendimiento histórico

Si bien el rendimiento pasado no garantiza el rendimiento futuro, puede proporcionar cierta indicación de cómo podría comportarse un activo en diferentes condiciones de mercado. Además, las proyecciones futuras basadas en análisis fundamental y técnico pueden ayudar a identificar materias primas con potencial de crecimiento.

### Factores macroeconómicos

Finalmente, los factores macroeconómicos, como las expectativas de inflación, las políticas monetarias y fiscales, y las tendencias del crecimiento económico, también pueden desempeñar un papel importante en la selección de materias primas. Las materias primas a menudo se consideran una cobertura contra la inflación, por lo que, durante los períodos de alta inflación, las inversiones en materias primas pueden ofrecer protección. Además, las políticas monetarias y fiscales pueden afectar la demanda de ciertos productos básicos. Por ejemplo, una política de tasas de interés bajas puede estimular la demanda de oro, que a menudo se ve como un refugio seguro.

### Selección de materias primas

A partir de estos criterios seleccionaremos las siguientes materias primas para incluir en nuestra cartera:

#### Energía

- **Petróleo Crudo:** A pesar de su volatilidad, el petróleo crudo ofrece oportunidades significativas de rendimiento. Los precios del petróleo están influenciados por una

amplia gama de factores, incluyendo la política geopolítica y la demanda global de energía.

- Gas Natural: Como una fuente de energía importante, el gas natural puede ser una inversión atractiva. Los precios pueden fluctuar en función de factores como la política energética y el clima, pero la transición global hacia las energías limpias podría aumentar su demanda.

#### Metales:

- Oro: Este es un refugio seguro durante los tiempos de incertidumbre económica. Además, es un activo que tiende a mantener su valor frente a la inflación, lo que lo hace un componente valioso en una cartera diversificada.
- Plata: Aunque menos valiosa que el oro, la plata tiene una serie de usos industriales que ayudan a mantener su demanda. Además, al igual que el oro, puede servir como una cobertura contra la inflación.
- Cobre: El cobre es un metal industrial con una amplia gama de usos. Su demanda está fuertemente ligada al crecimiento económico, ya que se utiliza en la construcción, la generación de energía y la fabricación de productos electrónicos.
- Aluminio: Este metal es crucial para muchos sectores, desde la automoción hasta la construcción y la fabricación de aviones. Su amplia aplicación puede ayudar a diversificar los riesgos en la cartera de inversiones.

#### Productos agrícolas:

- Soja: La soja es un producto agrícola esencial con un mercado global considerable. La creciente demanda de alimentos y biocombustibles, especialmente en los países en desarrollo, la convierte en una inversión atractiva.
- Trigo: Otro producto agrícola importante, el trigo es un producto básico para la alimentación humana y animal. Los precios del trigo pueden ser volátiles debido a factores como el clima y las políticas agrícolas, pero también puede ofrecer buenos rendimientos.
- Algodón: El algodón es una materia prima crucial para la industria textil. Aunque los precios pueden ser volátiles debido a factores como el clima y las políticas comerciales, también ofrece un buen potencial de rendimiento.
- Café: Como uno de los productos más comercializados del mundo, el café puede ser una inversión interesante. Los precios pueden ser volátiles, pero también ofrecen un buen potencial de rendimiento debido a la creciente demanda global.

### **4.3. Conjunto de datos**

Se van a utilizar las cotizaciones diarias obtenidas de Yahoo Finance a lo largo de 2022.

## 4.4. Análisis descriptivo de las materias primas

El análisis descriptivo de las materias primas es una parte esencial del proceso de inversión. Nos permite comprender el comportamiento de estos activos a lo largo del tiempo y hacer proyecciones informadas sobre su rendimiento futuro. Para ello, recurrimos a una serie de conceptos y medidas clave que describiremos a continuación.

### Línea de tendencia:

Una línea de tendencia es una línea trazada en un gráfico de precios que refleja la dirección general del movimiento del precio durante un período específico. Dependiendo de la dirección de la línea, podemos encontrarnos con los siguientes escenarios:

- Línea ascendente: Indica una tendencia alcista, lo que significa que los precios han estado aumentando a lo largo del tiempo. En otras palabras, el valor del activo está en aumento.
- Línea descendente: Representa una tendencia bajista, lo que implica que los precios han estado disminuyendo a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el valor del activo está en descenso.
- Línea plana: Sugiere una tendencia lateral, lo que significa que los precios han permanecido más o menos estables durante el período de tiempo estudiado, y no se observa una tendencia clara.

### Retornos:

Los retornos representan la ganancia o pérdida generada por una inversión durante un período de tiempo específico. Generalmente, se expresan como un porcentaje del valor inicial de la inversión. Los retornos pueden ser simples, lo que significa que se calculan a partir del cambio en el precio, o logarítmicos, en cuyo caso se determinan a partir del cambio en el logaritmo natural del precio. En este caso, optaremos por usar los retornos logarítmicos, que se calculan a partir de la diferencia de los logaritmos naturales de los precios sucesivos.

### Volatilidad:

La volatilidad es una medida de la variación de los precios de un activo y señala cuánto se desvía el precio de un activo de su valor medio en un periodo de tiempo determinado. Una mayor volatilidad implica un riesgo más alto, dado que el activo puede experimentar cambios rápidos e impredecibles en su precio, tanto al alza como a la baja. Para calcular la volatilidad, primero se determina la volatilidad diaria como la desviación estándar de los retornos y, posteriormente, este valor se multiplica por la raíz cuadrada del número de días de negociación en un año (252).

### Value at Risk (VaR):

El VaR es una medida de riesgo que indica la máxima pérdida esperada en un período de tiempo dado para un nivel de confianza específico. Por ejemplo, un VaR del 5% a un día con un nivel de confianza del 95% implica que hay una probabilidad del 5% de que la pérdida supere el VaR en un día. Un VaR alto significa que hay una considerable probabilidad de sufrir pérdidas significativas. El método utilizado para calcular el VaR en este caso es el método modificado



de Cornish-Fisher, también conocido como VaR modificado. Esta es una extensión del método paramétrico que incorpora el sesgo (asimetría) y la curtosis (presencia de colas pesadas) de la distribución de los retornos en el cálculo. A diferencia del método paramétrico estándar, que asume una distribución normal, este método proporciona una estimación más precisa del VaR para distribuciones que se desvían de la normalidad.

#### Conditional Value at Risk (CVaR):

El CVaR, también conocido como Expected Shortfall, es una medida de riesgo que indica la pérdida esperada en el peor escenario, una vez que se ha superado el VaR. Esta métrica proporciona una medida de los riesgos en la 'cola' de la distribución de retornos. Un CVaR alto sugiere que las pérdidas podrían ser muy grandes si las cosas van mal, lo que lo hace útil para los inversores que buscan protegerse contra el riesgo de pérdidas extremas. Para calcular el CVaR, utilizamos el método modificado de Cornish-Fisher, que implica obtener inicialmente el sesgo y la curtosis de la distribución de rendimientos (tercer y cuarto momentos respectivamente). Después, aplicamos la fórmula de Cornish-Fisher para ajustar el valor Z estándar de la confianza deseada, tomando en cuenta el sesgo y la curtosis de la distribución. Finalmente, este valor Z ajustado se utiliza para calcular el CVaR.

#### Skewness (Asimetría):

La asimetría, o 'skewness' en inglés, es una medida de la asimetría de la distribución de los retornos de un activo. Si la distribución presenta una asimetría positiva, significa que tiene una cola derecha más larga, indicando una mayor probabilidad de obtener rendimientos extremadamente altos. En cambio, una distribución con asimetría negativa tiene una cola izquierda más larga, lo que señala una mayor probabilidad de rendimientos extremadamente bajos.

La fórmula para calcular la asimetría es:  $E \left[ \left( \frac{X - \mu}{\sigma} \right)^3 \right]$ , donde:

- X representa cada valor de la distribución
- $\mu$  es la media de la distribución
- $\sigma$  es la desviación estándar de la distribución
- $E [ ]$  denota el valor esperado (o la media) de la expresión dentro de los corchetes
- 

#### Kurtosis (Curtosis):

La curtosis, o 'kurtosis' en inglés, es una medida de la 'gordura' de las colas de la distribución de los retornos de un activo y también refleja el pico de dicha distribución. Una distribución con una curtosis alta tiene colas más 'pesadas' o 'gruesas', lo que significa que hay una mayor probabilidad de obtener rendimientos extremos.

La fórmula para calcular la asimetría es:  $E \left[ \left( \frac{X - \mu}{\sigma} \right)^4 \right] - 3$ , donde:

- X representa cada valor de la distribución
- $\mu$  es la media de la distribución
- $\sigma$  es la desviación estándar de la distribución
- $E [ ]$  denota el valor esperado (o la media) de la expresión dentro de los corchetes

### Total return:

El Retorno Total de una inversión representa la ganancia o pérdida acumulada que dicha inversión ha generado durante un período de tiempo específico. Este cálculo incorpora tanto las ganancias de capital como los ingresos procedentes de la inversión, como los dividendos. Sin embargo, en este caso, no se consideran dividendos dado que estamos trabajando con materias primas. Un alto Retorno Total indica una mayor rentabilidad de la inversión.

Para calcular el Retorno Total, se utiliza la siguiente fórmula:

Retorno Total =  $(P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}) / P_{\text{inicial}}$ , donde:

- $P_{\text{final}}$  representa el valor del activo al final del período estudiado
- $P_{\text{inicial}}$  corresponde al valor del activo al inicio del mismo período

### Risk-Adjusted Return:

El retorno ajustado al riesgo es una medida del rendimiento de una inversión que tiene en cuenta el riesgo asumido para generar ese rendimiento. Se calcula dividiendo el retorno de una inversión por una medida de su riesgo, como la volatilidad. Un mayor retorno ajustado al riesgo indica una inversión más eficiente.

Para calcular el retorno ajustado al riesgo, se utiliza la siguiente fórmula:

Retorno ajustado al riesgo = Retorno Total / Volatilidad

## **Algodón**

Figura 4.1: Precios del algodón. Pág. 54

Figura 4.2: Retornos del algodón. Pág. 54

### Línea de tendencia:

En la línea de tendencia, podemos observar una tendencia alcista durante el primer semestre del año, la cual es seguida por un gran desplome a finales de junio. Durante la segunda mitad del año, parecía que la recuperación comenzaba, pero hacia finales de año, el precio terminó cayendo. Durante diciembre, el precio se mantuvo estable alrededor de los 85€.

### Retornos:

Como se puede observar en el gráfico, los retornos están prácticamente divididos de manera equitativa entre los positivos y los negativos, aunque con un volumen ligeramente mayor en estos últimos. También podemos notar un retorno negativo extremo de casi el 30%, que coincide con la caída del precio que observamos en el gráfico superior, donde se muestra la línea de tendencia.

### Volatilidad:

El valor de la volatilidad anualizada para el algodón es de 0.4717302. Esto sugiere que se espera una fluctuación promedio en el precio del algodón de aproximadamente el 47.17% a lo largo de un año. Este valor representa una volatilidad bastante alta, lo que indica un elevado grado de incertidumbre o riesgo en el precio del algodón. En otras palabras, se podría esperar que el precio del algodón aumente o disminuya un 47.17% con respecto a su precio actual, en cualquier dirección, durante el próximo año.

### VaR (Value at Risk):

El VaR del 5% para los retornos del algodón es -0.05442121, o -5.442121% al convertirlo a términos porcentuales. Esto implica que, con un nivel de confianza del 95%, no esperaríamos ver un rendimiento diario peor que una pérdida del 5.442121%. En otras palabras, podemos estar 95% seguros de que nuestra inversión diaria en algodón no perderá más del 5.442121% de su valor.

### CVaR (Conditional Value at Risk):

El CVaR de 5% para los retornos del algodón es -0.1730587, o -17.30587% si se convierte en términos porcentuales. Esto significa que, dado que la inversión en algodón exceda el VaR del 5%, se espera que la pérdida promedio sea del 17.30587%.

### Skewness (asimetría):

El valor de la asimetría para el algodón es de -2.969272, lo que indica que la distribución de los retornos es significativamente sesgada hacia la izquierda, o sea, es negativa. A partir de este valor, podemos hacer algunas interpretaciones:

- Una distribución con asimetría negativa, como la del algodón, sugiere que los rendimientos del algodón tienden a ser más negativos que positivos. En otras palabras, hay una probabilidad relativamente mayor de tener rendimientos negativos grandes en comparación con rendimientos positivos grandes.
- La magnitud del valor de asimetría (-2.969272) sugiere una asimetría bastante marcada. Si la asimetría fuera exactamente 0, tendríamos una distribución simétrica (como la distribución normal). Sin embargo, en este caso, los retornos del algodón muestran un sesgo bastante fuerte hacia la izquierda. Esto puede implicar que las pérdidas cuando ocurren pueden ser significativamente grandes.

### Kurtosis (Curtosis):

El valor de la curtosis para el algodón es de 29.25607. Esto significa que la distribución de los retornos de algodón presenta colas más 'pesadas' y un pico más pronunciado que la distribución normal estándar, que tiene una curtosis de 3.

Las interpretaciones que se pueden hacer con este dato son:

- Una curtosis mayor a 3, como en este caso, se denomina 'leptocúrtica' y sugiere que la distribución presenta colas más 'gruesas' que la distribución normal. Esto significa que los retornos extremos (muy por encima o muy por debajo de la media) son más probables que en una distribución normal.
- Además, una curtosis mayor que 3 también sugiere que la distribución tiene un pico más pronunciado, lo que significa que los retornos cercanos a la media son más frecuentes en comparación con una distribución normal.

### Total return:

El Retorno Total del algodón para el período de tiempo considerado es -0.2663029. Esto representa una disminución neta del 26.63029% en el valor de la inversión en algodón durante ese período. Dicho de otro modo, si se hubiera realizado una inversión inicial de 100 euros en

algodón al comienzo del período, al final de este, el valor de esta inversión se habría reducido a aproximadamente 73.37 euros, implicando una pérdida de alrededor de 26.63 euros.

#### Risk-Adjusted Return:

El retorno ajustado al riesgo de -0.5645238 para el algodón indica que, en promedio, por cada unidad de riesgo asumida, se ha experimentado una pérdida de 0.5645238 unidades de rendimiento. Este valor negativo sugiere que, desde una perspectiva de rendimiento ajustado al riesgo, la inversión en algodón ha tenido un desempeño deficiente durante el período de tiempo analizado. Específicamente, indica que, por cada unidad de riesgo asumida al invertir en algodón, el valor de dicha inversión ha disminuido en 0.5645238 unidades en el tiempo considerado.

### **Aluminio**

Figura 4.3: Precios del aluminio. Pág. 55

Figura 4.4: Retornos del aluminio. Pág. 55

#### Línea de tendencia:

Como se puede observar en la línea de tendencia, el aluminio comenzó el año con buen pie. Sin embargo, a partir de abril, el precio empezó a caer. A finales de año se observó una ligera recuperación, cerrando 2022 en 2378 €.

#### Retornos:

En el gráfico de retornos, podemos observar que hay ligeramente más retornos negativos que positivos. Los negativos son quizás más extremos que los positivos, alcanzando picos de casi -7.5%.

#### Volatilidad:

Un valor de volatilidad de 0.3083941 para el aluminio sugiere una cantidad significativa de variabilidad o incertidumbre en los precios de este recurso. Esto implica que los precios del aluminio han experimentado considerables fluctuaciones a lo largo del período de tiempo analizado.

Dado que la volatilidad es una medida anualizada, podemos interpretarla de la siguiente manera: si el precio del aluminio continúa siguiendo el mismo patrón de volatilidad observado recientemente, se espera que, en promedio, fluctúe un 30.84% hacia arriba o hacia abajo durante el próximo año.

#### VaR (Value at Risk):

El valor de VaR es de -0.03248134. Este número sugiere que, con un nivel de confianza del 95%, la pérdida máxima esperada en un solo día sería del 3.248134% del valor de la inversión. Esto se interpreta de tal manera que existe un 5% de probabilidad de que las pérdidas superen el 3.248134% en un día determinado

### CVaR (Conditional Value at Risk):

El valor del CVaR es de -0.04277946. Esto indica que, en una situación donde las pérdidas se sitúen dentro del peor 5% de los casos, podemos esperar que la pérdida ronde el 4.277946% del valor de la inversión en un día determinado

### Skewness (asimetría):

El valor de asimetría para el aluminio es de -0.01535638, lo que implica que la distribución de los retornos tiene una ligera inclinación hacia la izquierda, es decir, es ligeramente negativa. A partir de este dato, podemos hacer algunas interpretaciones:

- Una distribución con asimetría negativa, como la del aluminio, sugiere que los rendimientos del aluminio tienden a generar más pérdidas que ganancias. En otras palabras, existe una probabilidad relativamente mayor de rendimientos negativos grandes en comparación con rendimientos positivos grandes.
- El valor de -0.01535638 señala una asimetría muy leve. Si la asimetría fuera exactamente 0, nos encontraríamos con una distribución simétrica (como la distribución normal). Por lo tanto, aunque los retornos del aluminio muestran un ligero sesgo hacia la izquierda, no representan una desviación significativa de la simetría.

### Kurtosis (curtosis):

El valor de la curtosis para el aluminio es de 3.679019. Esto significa que la distribución de los retornos del café presenta colas más 'pesadas' y un pico más pronunciado que la distribución normal estándar, la cual tiene una curtosis de 3.

Las interpretaciones que se pueden hacer con este dato son:

- Una curtosis mayor a 3, como en este caso, se denomina 'leptokúrtica' y sugiere que la distribución presenta colas más 'gruesas' que la distribución normal. Esto significa que los retornos extremos (muy por encima o muy por debajo de la media) son más probables que en una distribución normal.
- Además, una curtosis mayor que 3 también sugiere que la distribución tiene un pico más pronunciado, lo que significa que los retornos cercanos a la media son más frecuentes en comparación con una distribución normal.

-

### Total Return:

Un total return de -0.1623811 implica que, en términos de valor, el aluminio ha experimentado una disminución del 16.24% durante el periodo de tiempo analizado. Este fenómeno podría haber sido provocado por una variedad de factores, como cambios en la oferta y demanda, fluctuaciones en el mercado global o condiciones económicas específicas que afectan al sector de los metales.

### Risk-Adjusted Return:

Un retorno ajustado al riesgo de -0.5265377 señala que, por cada unidad de riesgo asumida (medida, por ejemplo, mediante la volatilidad de los precios), se ha registrado una pérdida del 52.65% en el retorno de la inversión en aluminio.

## Café

Figura 4.5: Precios del café. Pág. 56

Figura 4.6: Retornos del café. Pág. 56

### Línea de tendencia:

La línea de tendencia del café apunta a que este activo comenzó el año mostrando una estabilidad considerable, pero experimentó un grave desplome durante el último trimestre del año.

### Retornos:

En el gráfico se puede observar que los retornos del café están distribuidos prácticamente de manera equitativa entre positivos y negativos, aunque sí se pueden identificar un par de picos extremos en los positivos.

### Volatilidad:

El valor de volatilidad de 0.362406 sugiere que el café es un activo ciertamente inestable. Siendo una medida de volatilidad anualizada, esto puede interpretarse como que, si el precio del café sigue la misma tendencia, podría fluctuar un 36.24% durante el año 2023.

### VaR (Value at Risk):

El VaR tiene un valor de -0.0368536. Este dato indica que, con una confianza del 95%, se espera que la pérdida máxima en un solo día sea del 3.68536% del valor de la inversión. Esto se entiende como que hay un 5% de probabilidad de que las pérdidas excedan el 3.68536% en un día específico.

### CVaR (Conditional Value at Risk):

El CVaR tiene un valor de -0.04525145. Esto sugiere que, en una situación en la que las pérdidas se encuentren en el peor 5% de los casos, podemos anticipar que la pérdida estará alrededor del 4.525145% del valor de la inversión en un día específico.

### Skewness (asimetría):

El valor 0.2598783 de la asimetría (skewness) sugiere que la distribución de los retornos del café durante el año 2022 presenta una ligera cola hacia la derecha. Esto indica que existe una tendencia a registrar valores más altos en los retornos del café en comparación con los valores más bajos. Sin embargo, dado que el valor está cercano a cero, la asimetría es bastante leve y podemos considerar que la distribución es aproximadamente simétrica.

### Kurtosis (curtosis):

El valor de kurtosis de 3.296044 apunta a una alta kurtosis en la distribución de los retornos del café durante el año 2022. Esto sugiere que dicha distribución presenta colas más pesadas y picos más pronunciados en comparación con una distribución normal. En otras palabras, la distribución de los retornos del café durante ese año evidencia una mayor concentración de datos en torno a la media, con una probabilidad incrementada de observar valores extremos.

### Total Return:

El total return negativo de -0.2507837 refleja una pérdida del 25.08% en la inversión en café durante 2022, señalando una disminución en los precios y, por ende, un rendimiento negativo para los inversores.

### Risk-Adjusted Return:

El retorno ajustado al riesgo de -0.6919966 para el café en 2022 indica un rendimiento ajustado al riesgo negativo, con una pérdida del 69.20%. Esto implica que la inversión en café no logró compensar el nivel de riesgo asumido.

## **Cobre**

Figura 4.7: Precios del cobre. Pág. 57

Figura 4.8: Retornos del cobre. Pág. 57

### Línea de tendencia:

En el gráfico podemos observar que el comportamiento del cobre durante el año 2022 ha sido similar a una montaña rusa. Comenzó el año con una tendencia al alza, pero hacia mitad de año experimentó un desplome. No obstante, en la recta final del año parece que intenta recuperar parte de su valor, indicando una nueva tendencia al alza.

### Retornos:

El gráfico de retornos confirma lo señalado con respecto a la línea de tendencia. Al comienzo del año, la distribución de los retornos se mantenía más o menos equilibrada, pero hacia mediados del año observamos que la distribución de retornos está claramente por debajo de la línea roja del 0. Sin embargo, para finalizar el año, se registran más retornos positivos que negativos.

### Volatilidad:

En este caso, un valor de 0.2745042 sugiere que los precios del cobre experimentaron una volatilidad moderada durante el año 2022. Esto implica que hubo cierta inestabilidad en el mercado del cobre, con cambios significativos en los precios a lo largo del año.

### VaR (Value at Risk):

El VaR de -0.02628643 indica que, con un nivel de confianza del 95%, la pérdida máxima esperada para una inversión en cobre sería del 2.628643%.

### CVaR (Conditional Value at Risk):

El CVaR de -0.03354957 indica que, con un nivel de confianza del 95%, el promedio de las pérdidas que exceden el VaR para una inversión en cobre sería del 3.354957%.

### Skewness (asimetría):

Un valor de asimetría de 0.2986946 significa que la distribución de los retornos del cobre en 2022 tiene una ligera asimetría positiva. Esto significa que la cola en el lado derecho de la distribución de la frecuencia es un poco más larga o gruesa que la del lado izquierdo.

### Kurtosis (curtosis):

El valor de la curtosis del cobre durante 2022 es 4.327141, lo que indica una distribución leptocúrtica, es decir, con colas más pesadas y una cima más aguda que la distribución normal. Al ser mayor a 3, que corresponde a una distribución normal, sugiere que los rendimientos del cobre han presentado más extremos (muy altos o bajos) de lo esperado en una distribución normal de rendimientos. Adicionalmente, los rendimientos han tendido a ser menos moderados, ubicándose cerca de la media o significativamente por encima o debajo de esta. Este fenómeno podría implicar un mayor riesgo al invertir en cobre durante este período, debido a la volatilidad y la posibilidad de cambios bruscos en su valor.

### Total Return:

El valor de -0.137623 para el rendimiento total del cobre durante el año 2022 indica una disminución en el valor de esta materia prima durante ese año. Esto significa que si hubieras invertido en cobre a principios de 2022, habrías experimentado una pérdida de aproximadamente el 13.76% en tu inversión a finales de ese año.

### Risk-Adjusted Return:

El valor del Risk-Adjusted Return para el cobre en 2022 es -0.5013512. Este número negativo indica que, teniendo en cuenta el riesgo asociado a la inversión en cobre durante este período, la inversión habría generado pérdidas. En otras palabras, el retorno obtenido no compensó el nivel de riesgo asumido, resultando en que la inversión en cobre en 2022 no fue rentable, pese al riesgo tomado.

## **Gas**

Figura 4.9: Precios del gas. Pág. 58

Figura 4.10: Retornos del gas. Pág. 58

### Línea de tendencia:

En el gráfico de la línea de tendencia, se observa que el gas comenzó el año con un precio muy bajo, pero durante el año llegó incluso a triplicar este precio en dos ocasiones. Estos dos picos fueron seguidos por bruscas caídas de precio, tras las cuales el gas intentó recuperarse, pero finalmente volvió a caer. Aun así, el activo terminó el año con un precio superior al que había comenzado.

### Retornos:

En la gráfica de retornos se confirma lo que se ha mencionado sobre la línea de tendencia: se observan retornos con picos muy marcados, tanto al alza como a la baja, lo que puede indicar una alta volatilidad.



### Volatilidad:

El valor de volatilidad anualizada de 0.8618792 para el gas en 2022 implica una alta fluctuación en los precios, lo que es indicativo de un mayor riesgo, dado que el precio puede cambiar drásticamente en un corto plazo. Aunque esto puede llevar a pérdidas significativas si el precio cae, también presenta oportunidades para ganancias notables si los precios aumentan.

### VaR (Value at Risk):

El VaR de -0.09097451 para el gas en 2022 sugiere que, asumiendo un VaR del 5% (estándar en la industria), existe una probabilidad del 5% de que la inversión en gas podría depreciarse en un 9.097% o más en el próximo año. En otras palabras, se estima que la peor pérdida posible bajo condiciones normales de mercado no excedería el 9.097%, con un 95% de confianza.

### CVaR (Conditional Value at Risk):

En CVaR del 95% de -0.1227691 para el gas en 2022 significa que, en el peor 5% de los escenarios posibles, puedes esperar perder al menos el 12.277% del valor de tu inversión en gas. Dicho de otra manera, si los mercados se mueven en contra de tu posición en una forma que solo se espera que ocurra el 5% del tiempo, la pérdida media de esos casos extremos sería del 12.277%.

### Skewness (asimetría):

El valor de asimetría de -0.3575178 para el gas en 2022 indica una asimetría negativa, es decir, más retornos extremadamente bajos que altos. En términos prácticos, sugiere que los precios del gas cayeron drásticamente en varias ocasiones, más de lo que subieron equivalente. Para un inversor, este escenario puede representar un riesgo debido a la posibilidad de pérdidas sustanciales.

### Kurtosis (curtosis):

El valor de la curtosis del gas durante 2022 es 3.549504, lo que indica una distribución leptocúrtica, es decir, con colas más pesadas y una cima más aguda que la distribución normal. No es mucho más alto de 3, por lo que la distribución leptocúrtica no es muy pronunciada, pero si se presentan rendimientos más extremos que en una distribución normal

### Total Return:

Un total return de 0.1730013 para el gas durante 2022 significa que si hubieras invertido en gas a principios de 2022, habrías experimentado un aumento del 17.3% en el valor de tu inversión a finales de ese año.

### Risk-Adjusted Return:

El valor de Risk-Adjusted Return para el gas en 2022 es 0.2007257, lo que indica un rendimiento positivo ajustado al riesgo. En términos prácticos, sugiere que el retorno obtenido durante 2022 ha compensado adecuadamente el riesgo asumido al invertir en gas, proporcionando un rendimiento satisfactorio en relación con dicho riesgo.

## Oro

Figura 4.11: Precios del oro. Pág. 59

Figura 4.12: Retornos del oro. Pág. 59

### Línea de tendencia:

El oro es generalmente reconocido como un activo bastante fiable y seguro, lo cual se refleja en su gráfica de precios. Observamos que comenzó el año en alza, alcanzando su máximo en marzo. A partir de ahí, comenzó a caer de manera no muy brusca hasta noviembre, cuando experimentó un repunte para cerrar el año ligeramente por encima del precio con el que comenzó en 2022.

### Retornos:

En el gráfico de retornos podemos ver que hay más extremos negativos que positivos pero que el reparto de retornos es similar en ambos sentidos.

### Volatilidad:

El valor de volatilidad anualizada para el oro en 2022 es de 0.1570941, lo que indica una fluctuación esperada de aproximadamente el 15.7% en su precio. Esta es una volatilidad relativamente baja comparada con otros activos o materias primas, coherente con la visión del oro como un activo refugio y generalmente menos volátil. Aunque esta baja volatilidad sugiere un menor riesgo, también podría implicar menores oportunidades de grandes ganancias, debido a la menor probabilidad de cambios drásticos en los precios.

### VaR (Value at Risk):

El valor de VaR para el oro en 2022 que mencionas es -0.01559591. Esto implica que, bajo condiciones normales de mercado, y con un 95% de confianza, la mayor pérdida que podrías esperar de tu inversión en oro en un día sería del 1.56%. En otras palabras, hay un 5% de probabilidad de que la inversión en oro caiga en valor en un 1.56% o más en un solo día.

### CVaR (Conditional Value at Risk):

El CVaR del 95% de -0.02024651 para el oro en 2022 significa que, en el peor 5% de los escenarios posibles, puedes esperar perder al menos el 2.02% del valor de tu inversión en oro en un día. Dicho de otra manera, si los mercados se mueven en contra de tu posición en una forma que solo se espera que ocurra el 5% del tiempo, la pérdida promedio de esos casos extremos sería del 2.02%.

### Skewness (asimetría):

El valor de skewness para el oro en 2022 es 0.08064539. Este es un valor bastante cercano a cero, lo que sugiere que la distribución de los precios del oro en 2022 es aproximadamente simétrica, pero con una ligera inclinación o cola hacia la derecha.

### Kurtosis (curtosis):

El valor de kurtosis para el oro en 2022 es 3.6040667. Este valor es ligeramente mayor que 3, lo que indica que la distribución de los precios del oro en 2022 tiene colas ligeramente más pesadas que una distribución normal. Esto podría sugerir que ha habido un número ligeramente mayor de precios extremadamente altos o bajos (valores atípicos) de lo que se esperaría en una distribución normal.

### Total Return:

El total return del oro en 2022 es de 0.01449919. Este número está en formato decimal, así que si lo convertimos a porcentaje, obtenemos un total return de aproximadamente 1.45%. Esto significa que, en 2022, una inversión en oro habría aumentado en valor en un 1.45%.

### Risk-Adjusted Return:

El valor del Risk-Adjusted Return para el oro en 2022 es de 0.09229622. Este número está en formato decimal, por lo que si lo convertimos a porcentaje, obtenemos un Risk-Adjusted Return de aproximadamente 9.23%.

Este es un retorno bastante sólido una vez que se ha tenido en cuenta el riesgo, lo que sugiere que, en 2022, el oro proporcionó un buen rendimiento en relación con el nivel de riesgo asumido.

## **Petróleo**

Figura 4.13: Precios del petróleo. Pág. 60

Figura 4.14: Retornos del petróleo. Pág. 60

### Línea de tendencia:

Aunque el precio del petróleo comenzó y terminó el año prácticamente con el mismo precio, durante el año sufrió grandes fluctuaciones de precio llegando casi a duplicar el precio de inicio del año.

### Retornos:

En los retornos vemos las fluctuaciones que ha sufrido con retornos positivos de hasta 7.5% y retornos negativos de hasta 12.5%.

### Volatilidad:

El valor de volatilidad para el petróleo en 2022 es de 0.4905635. Este número está en formato decimal y se puede convertir a porcentaje para una interpretación más fácil, dando aproximadamente un 49.06%. Esto indica una volatilidad bastante alta para el precio del petróleo en 2022.

### VaR (Value at Risk):

VaR de -0.05267257 (o -5.27% cuando se convierte a términos porcentuales) podría interpretarse como que hay un 5% de probabilidad de que la inversión en petróleo pierda al menos el 5.27% de su valor en un día.

#### CVaR (Conditional Value at Risk):

El valor de CVaR para el petróleo en 2022 es -0.07751636. Cuando convertimos esto a términos porcentuales, obtenemos un CVaR de aproximadamente -7.75%. Esto significa que, en el peor 5% de los posibles resultados para el petróleo en 2022, puedes esperar perder al menos un 7.75% del valor de tu inversión.

#### Skewness (asimetría):

El valor de skewness para el petróleo en 2022 es -0.5456279. Este es un valor negativo, lo que sugiere que la distribución de los retornos del petróleo en 2022 tiene una asimetría negativa o tiene una cola más pesada en el lado izquierdo.

En otras palabras, las fluctuaciones negativas en los retornos del petróleo podrían haber sido más extremas o frecuentes que las fluctuaciones positivas.

#### Kurtosis (curtosis):

El valor de kurtosis para el petróleo en 2022 es 4.46423. Este valor es mayor que 3, lo que indica que la distribución de los retornos del petróleo en 2022 tiene colas más pesadas que una distribución normal.

#### Total Return:

El total return que has proporcionado para el petróleo en 2022 es de 0.05770242. Este número está en formato decimal, por lo que si lo convertimos a porcentaje, obtenemos un total return de aproximadamente 5.77%.

Esto significa que, durante el año 2022, una inversión en petróleo habría aumentado en valor en un 5.77%, después de tener en cuenta tanto las ganancias de capital como cualquier rendimiento devengado.

#### Risk-Adjusted Return:

El valor del Risk-Adjusted Return para el petróleo en 2022 es 0.1176248. Este número está en formato decimal, por lo que si lo convertimos a porcentaje, obtenemos un Risk-Adjusted Return de aproximadamente 11.76%.

Este es un buen retorno una vez que se ha tenido en cuenta el riesgo, lo que sugiere que, en 2022, el petróleo proporcionó un rendimiento sólido en relación con el nivel de riesgo asumido.

## **Plata**

*Figura 4.15: Precios de la plata. Pág. 61*

*Figura 4.16: Retornos de la plata. Pág. 61*

#### Línea de tendencia:

La plata comenzó el año al alza hasta mayo, donde sufrió un grave desplome de precio hasta finales de julio. Después de esto comenzó a reflotar para cerrar el año por encima del precio de inicio de año.

### Retornos:

Los retornos se pueden ver estables hasta mediados de año que se empiezan a disparar tanto hacia arriba como hacia abajo, siendo los positivos más abundantes.

### Volatilidad:

El valor de volatilidad anualizada para la plata en 2022 es 0.3154274. Cuando lo convertimos a porcentaje, obtenemos aproximadamente un 31.54%. Esto sugiere un nivel relativamente alto de riesgo y volatilidad para la plata en este año, lo que implica que los precios de la plata tuvieron cambios bastante significativos.

### VaR (Value at Risk):

VaR de -0.02913411 (o -2.91% cuando se convierte a términos porcentuales) podría interpretarse como que hay un 5% de probabilidad de que la inversión en plata pierda al menos el 2.91% de su valor en un día.

### CVaR (Conditional Value at Risk):

El valor de CVaR para la plata en 2022 es -0.03604823. Cuando convertimos esto a términos porcentuales, obtenemos un CVaR de aproximadamente -3.60%. Esto significa que, en el peor 5% de los posibles resultados para la plata en 2022, puedes esperar perder al menos un 3.60% del valor de tu inversión en un día.

### Skewness (asimetría):

El valor de skewness para la plata en 2022 es 0.4528447. Este es un valor positivo, lo que sugiere que la distribución de los retornos de la plata en 2022 tiene una asimetría positiva o una cola más pesada en el lado derecho. Las fluctuaciones al alza en los retornos de la plata podrían haber sido más extremas o frecuentes que las fluctuaciones a la baja.

### Kurtosis (curtosis):

El valor de kurtosis que has proporcionado para la plata en 2022 es 4.328576. Dado que este valor es mayor que 3, indica que la distribución de los precios de la plata en 2022 es leptocúrtica. Esto sugiere que los retornos de la plata tuvieron una mayor probabilidad de experimentar cambios extremos (ya sean alzas o bajas significativas) en comparación con una distribución normal.

### Total Return:

El total return para la plata en 2022 es de 0.05392372. Este número está en formato decimal, por lo que si lo convertimos a porcentaje, obtenemos un total return de aproximadamente 5.39%. Una inversión en plata habría aumentado en valor en un 5.39% en 2022.

### Risk-Adjusted Return:

Un Risk-Adjusted Return positivo (0.1709545) sugiere que la inversión en plata en 2022 fue rentable teniendo en cuenta el nivel de riesgo.

## Soja

Figura 4.17: Precios de la soja. Pág. 62

Figura 4.18: Retornos de la soja. Pág. 632

### Línea de tendencia:

La soja se puede decir que ha tenido un buen año, ya que comenzó con grandes subidas, y aunque a mitad se desplomó hasta el precio de enero, termina el año por encima del precio inicial.

### Retornos:

En los retornos no vemos nada demasiado reseñable más allá de la caída de mediados de año que nos llevó a ver retornos negativos de más del 5%

### Volatilidad:

La volatilidad de 0.2612245 se podría decir que es relativamente baja debido a que, en general, una volatilidad por debajo de 0.3 se considera relativamente baja, mientras que una volatilidad por encima de 0.3 se considera más alta.

### VaR (Value at Risk):

VaR de -0.02809521 (o -2.8% cuando se convierte a términos porcentuales) podría interpretarse como que hay un 5% de probabilidad de que la inversión en soja pierda al menos el 2.8% de su valor en un día.

### CVaR (Conditional Value at Risk):

El valor de CVaR para la soja en 2022 es -0.04007969. Cuando convertimos esto a términos porcentuales, obtenemos un CVaR de aproximadamente -4%. Esto significa que, en el peor 5% de los posibles resultados para la soja en 2022, puedes esperar perder al menos un 4% del valor de tu inversión en un día.

### Skewness (asimetría): -0.5155374

El valor de asimetría de -0.5155374 para la soja en 2022 indica una asimetría negativa, es decir, más retornos extremadamente bajos que altos. En términos prácticos, sugiere que los precios del gas cayeron drásticamente en varias ocasiones, más de lo que subieron equivalente. Para un inversor, este escenario puede representar un riesgo debido a la posibilidad de pérdidas sustanciales.

### Kurtosis (curtosis):

El valor de la curtosis del gas durante 2022 es 4.094426, lo que indica una distribución leptocúrtica, es decir, con colas más pesadas y una cima más aguda que la distribución normal. No es mucho más alto de 3, por lo que la distribución leptocúrtica es algo pronunciada, pero si se presentan rendimientos más extremos que en una distribución normal

### Total Return:

El valor de 0.1339286 sugiere que una inversión en soja durante el año 2022 ha dejado un aumento del 13.39%

### Risk-Adjusted Return:

Un retorno ajustado al riesgo positivo como este, 0.5126953, sugiere que el valor ha sido rentable conforme el riesgo asumido en la inversión.

## **Trigo**

Figura 4.19: Precios del trigo. Pág. 63

Figura 4.20: Retornos del trigo. Pág. 63

### Línea de tendencia:

Los precios del Trigo durante el año 2022 han querido tirar para arriba desde el inicio del año, pero al final el precio ha terminado cerrando el año en niveles ligeramente superiores a enero

### Retornos:

En la gráfica de retornos podemos ver los bandazos del precio reflejados en la línea de tendencia durante el primer trimestre y cómo se suavizan pasadas estas fechas

### Volatilidad: 0.5227422

La volatilidad para el trigo ha sido relativamente alta, 0.5227422, por lo que la inversión en trigo durante el año 2022 ha podido ser demasiado arriesgada.

### VaR (Value at Risk):

El VaR de -0.04323077 para el trigo indica que con un 5% de probabilidad el trigo pierda un 4.3% de su valor en un día

### CVaR (Conditional Value at Risk): -0.04323077

El CVaR de -0.04323077 sugiere que en el peor de los casos, con una confianza del 95%, no se va a perder más de 4.3%

### Skewness (asimetría):

El valor de asimetría para el trigo en 2022 es 0.6630387. Este es un valor positivo, lo que sugiere que la distribución de los retornos de la plata en 2022 tiene una asimetría positiva o una cola más pesada en el lado derecho. Las fluctuaciones al alza en los retornos de la plata podrían haber sido más extremas o frecuentes que las fluctuaciones a la baja.

### Kurtosis (curtosis):

El valor de kurtosis que has proporcionado para la plata en 2022 es 8.545698. Dado que este valor es mayor que 3, indica que la distribución de los precios de la plata en 2022 es leptocúrtica. Esto sugiere que los retornos de la plata tuvieron una mayor probabilidad de

experimentar cambios extremos (ya sean alzas o bajas significativas) en comparación con una distribución normal.

Total Return:

El total return para el Trigo en 2022 es de 0.04485488, lo que significa que ha dejado un beneficio del 4.48% a lo largo del año.

Risk-Adjusted Return:

El retorno ajustado al riesgo para el trigo en 2022 es de 0.08580688, este valor al ser positivo indica que ha sido una buena idea invertir en trigo en 2022 ya que el retorno obtenido compensa el riesgo asumido

### **4.3. Análisis de correlación**

En el análisis financiero, comprender las relaciones entre diferentes variables es crucial para tomar decisiones de inversión informadas. El análisis de correlación desempeña un papel vital en este sentido al cuantificar la fuerza y la dirección de las relaciones entre dos o más variables. En el contexto de nuestro análisis, el análisis de correlación nos permite explorar las interdependencias entre diversas materias primas comúnmente comercializadas en los mercados financieros.

La correlación varía de -1 a 1, donde -1 indica una correlación negativa perfecta, 1 indica una correlación positiva perfecta y 0 indica que no hay correlación. Una correlación positiva implica que, a medida que una variable aumenta, la otra tiende a aumentar también, mientras que una correlación negativa indica que, a medida que una variable aumenta, la otra tiende a disminuir.

En este informe, profundizamos en la correlación entre diferentes materias primas, buscando descubrir patrones y relaciones que puedan existir entre ellas. Al examinar las correlaciones, nuestro objetivo es obtener información sobre cómo los cambios en una materia prima pueden impactar a otras, y cómo estas relaciones pueden informar las estrategias de diversificación de cartera y gestión de riesgos.

A través del análisis de correlación presentado en este informe, pretendemos proporcionar a los inversores y profesionales financieros valiosas percepciones sobre la interconexión de las materias primas en el mercado, ayudándoles así a tomar decisiones de inversión bien fundamentadas.

*Figura 4.21: Correlación entre materiales. Pág. 64*

La matriz de correlación presentada aquí ofrece una visión integral de las relaciones entre pares de materias primas. Cada celda en la matriz muestra el coeficiente de correlación entre dos materias primas, con valores que van de -1 a 1. Un coeficiente de correlación cercano a 1 indica



una relación positiva fuerte, mientras que un coeficiente cercano a -1 señala una relación negativa fuerte. Un coeficiente de 0 sugiere que no hay relación lineal entre las variables.

Al interpretar la matriz de correlación, observamos lo siguiente:

- La correlación entre Materia Prima C (Aluminio) y Materia Prima D (Café) es de 0.88, lo que indica una relación positiva fuerte. Esto sugiere que los cambios en el precio o desempeño de la Materia Prima C tienden a asociarse positivamente con cambios en la Materia Prima D.
- De manera similar, la correlación entre Materia Prima D (Café) y Materia Prima E (Cobre) es de 0.92, sugiriendo una relación positiva ligeramente más fuerte en comparación con la correlación entre Materia Prima D y Materia Prima E.
- La correlación entre Materia Prima A (Oro) y Materia Prima D (Café) es de 0.96, lo que indica una relación positiva muy fuerte. Esto sugiere que los cambios en el precio o desempeño de la Materia Prima A están altamente correlacionados con cambios en la Materia Prima D.
- Por último, la correlación entre la Materia Prima A (Oro) consigo misma es de 1.00, como era de esperar. Esto representa una correlación positiva perfecta, ya que una variable está perfectamente correlacionada consigo misma.

En resumen, la matriz de correlación proporciona valiosas ideas sobre el grado y la dirección de las relaciones entre diferentes materias primas, ayudando a los inversores y analistas a comprender la dinámica del mercado y a tomar decisiones informadas sobre la gestión de carteras y estrategias de mitigación de riesgos.

#### 4.4. Herramientas y Software utilizados para la optimización

Para la optimización de la cartera de materias primas, se han utilizado varias herramientas y paquetes de software. A continuación se detallan estas herramientas y su uso en el proyecto:

Yahoo Finance: Este es un recurso en línea que proporciona datos financieros en tiempo real, cotizaciones de acciones, gráficos, noticias y análisis de diversos mercados financieros en todo el mundo. En este proyecto, Yahoo finance se ha utilizado para recopilar los precios de las materias primas durante el año 2022.

R: R es un lenguaje de programación y un entorno de software para análisis estadístico, gráficos y cálculos generales. R se ha utilizado para manejar los datos, realizar cálculos y optimizar la cartera.

Paquetes de R: Los siguientes paquetes de R se han utilizado en este proyecto:

- ggplot2: Este paquete se utiliza para crear gráficos estáticos, visualmente atractivos y complejos. En este proyecto, se utiliza para visualizar la distribución de los activos en la cartera óptima y la frontera eficiente.

- `PerformanceAnalytics`: Este paquete proporciona un conjunto de funciones para el análisis y la visualización del rendimiento de las inversiones financieras. En este proyecto, se utiliza para calcular las estadísticas de rendimiento y riesgo de la cartera.
- `readxl`: Este paquete se utiliza para leer datos de hojas de cálculo de Excel en R. En este proyecto, se utiliza para importar los datos de precios de las materias primas que se obtuvieron de Yahoo finance.
- `moments`: Este paquete proporciona funciones para calcular medidas estadísticas de tendencia central y dispersión, como la media, la varianza y la asimetría. En este proyecto, se utiliza para calcular los rendimientos y las covarianzas de las materias primas.
- `quadprog`: Este paquete se utiliza para resolver problemas de programación cuadrática, que son una clase de problemas de optimización en los que la función objetivo es cuadrática y las restricciones son lineales. En este proyecto, se utiliza para optimizar la cartera de acuerdo con el modelo de Markowitz.
- `dplyr`: Este paquete proporciona un conjunto de herramientas para manipular eficientemente estructuras de datos en R, como marcos de datos. En este proyecto, se utiliza para manipular los datos de precios de las materias primas.

Estas herramientas y paquetes de software, en conjunto con la teoría de la cartera de Markowitz, proporcionan un marco sólido para la construcción y optimización de una cartera de materias primas. Los datos históricos de precios se recogen y procesan, se calculan las estadísticas de rendimiento y riesgo, y finalmente se utiliza la optimización cuadrática para determinar la distribución de los activos que minimiza el riesgo para un rendimiento objetivo dado.



## 5. Análisis de datos y resultados

En esta sección, se analizarán los datos recopilados y los resultados obtenidos a través de los métodos y herramientas descritos en la sección anterior. Este análisis será esencial para entender la eficacia de las estrategias de optimización de carteras aplicadas y para proporcionar recomendaciones basadas en los hallazgos.

### Resumen del modelo de optimización de carteras de Markowitz

- Retorno Esperado: Esto implica el cálculo del retorno esperado para cada activo en la cartera, basado en datos históricos. En este análisis, estamos utilizando conjuntos de datos históricos de carteras como gas, petróleo, entre otros.
- Riesgo: Después de calcular los retornos esperados de varias carteras, se mide el riesgo asociado con cada activo. Este es la desviación estándar de los retornos y representa la volatilidad o variabilidad de los retornos alrededor de ellos.
- Covarianza: Markowitz también enfatiza las correlaciones entre varios activos utilizados en el análisis. La covarianza mide la relación entre dos pares de activos. Los activos con covarianza baja o negativa pueden potencialmente reducir el riesgo total de la cartera.
- Frontera Eficiente: Esta es una curva que representa el conjunto de carteras óptimas que ofrecen el mayor retorno esperado para un nivel de riesgo dado. Se obtiene combinando sistemáticamente diferentes activos en varias proporciones.
- Asignación de Cartera: Los inversores pueden elegir una cartera de la frontera eficiente basado en su tolerancia al riesgo y objetivos de inversión. La asignación a cada activo se determina por su retorno esperado, riesgo y covarianza con otros activos.
- Rebalanceo: Las carteras deben ser periódicamente rebalanceadas para mantener la asignación de activos deseada y el perfil de riesgo, ya que los precios de los activos y las correlaciones cambian con el tiempo.

El trabajo de Markowitz sentó las bases para la gestión moderna de carteras. Por ejemplo, asume que los inversores están únicamente preocupados por el retorno esperado y el riesgo, y se basa en gran medida en datos históricos que pueden no reflejar con precisión las condiciones futuras del mercado.

### 5.1. Cartera del sector agricultura

La figura representa las carteras que se van a estudiar. Se graficaron los retornos anualizados en el eje y contra los riesgos en el eje x, con cada una de las carteras representadas por puntos.

*Figura 5.1: Carteras para agricultura. Pág. 65*

Los activos con menores riesgos, como la soja, presentaron los rendimientos anuales más altos. El café y el algodón tuvieron los rendimientos más bajos pero con mayores riesgos.

### 5.1.1. Carteras notables

#### Riesgo mínimo

Al evaluar la distribución de los 4 activos en función de los riesgos mínimos, la soja presentó los riesgos mínimos más altos con un 57.5%; el café ocupó el segundo lugar con un riesgo mínimo del 24.6%; el tercero fue el algodón con un 13.0%, mientras que el cultivo con el riesgo mínimo menor en toda la cartera fue el trigo con solo un 5% de riesgo mínimo.

*Figura 5.2: Composición cartera mínimo riesgo agricultura. Pág. 66*

#### Máxima rentabilidad

La muestra que la soja es el cultivo más rentable, con la mayor rentabilidad sin considerar los riesgos asociados con el cultivo de soja y otros cultivos. El riesgo asociado con la soja también fue el mínimo, por lo tanto, es el mejor cultivo para la producción en el sector agrícola para obtener la máxima rentabilidad.

*Figura 5.3: Composición cartera máxima rentabilidad agricultura. Pág. 67*

Como se puede observar en la figura, la rentabilidad de esta cartera muestra cómo la inversión solo en soja, en comparación con otros cultivos agrícolas, afectará positivamente a las ganancias.

#### Máximo ratio de Sharpe

Según Markowitz, la cartera eficiente, con el índice de Sharpe más alto, es la mejor decisión posible. Como resultado, el cultivo de soja tiene el índice de Sharpe máximo, lo que nos lleva a la conclusión de que es el mejor cultivo en el que se puede invertir para obtener mayores ganancias con el menor riesgo asociado.

*Figura 5.4: Composición cartera máximo ratio de Sharpe agricultura. Pág. 68*

### 5.1.2. Comparación de carteras

La tabla muestra que la cartera de riesgo mínimo tiene el menor riesgo asociado con inversiones en el sector agrícola. El resultado también muestra diferentes ratios de Sharpe para varias carteras, siendo la cartera de riesgo mínimo la que presenta el menor ratio de Sharpe. Por lo tanto, dado que todos los demás ratios de Sharpe eran iguales y la cartera de riesgo mínimo tenía un ratio de Sharpe negativo, es evidente que el mejor modelo de inversión es cuando el máximo ratio de Sharpe es de 0.3995 con un rendimiento medio de 10.65% y un riesgo de 26.96%.

Cartera	Retorno Medio	Riesgo	Ratio Sharpe
Riesgo Mínimo	-0.06845577	0.2309659	-0.296389
Máxima Rentabilidad	0.10650048	0.2695580	0.395093
Máximo Ratio Sharpe	0.10650048	0.2695580	0.395093

### **Comparación de ganancias**

En la figura, se invirtió fuertemente en soja y trigo, a diferencia de las inversiones en algodón y café. Esto explica por qué las gráficas de series temporales son más altas para los cultivos mencionados primero que para los últimos. En consecuencia, mayores inversiones generan un mejor rendimiento, ya que la soja tuvo el mejor desempeño en términos de rendimiento, con un índice de Sharpe máximo más alto y un riesgo mínimo más bajo, que son aspectos esenciales del rendimiento de la cartera a considerar al realizar inversiones.

*Figura 5.5: Comparación de ganancias de inversión en agricultura. Pág. 69*

## **5.2. Carteras del sector metales**

La figura representa las carteras a estudiar. Se graficaron los rendimientos anualizados en el eje y y contra los riesgos en el eje x, con cada una de las carteras representadas por puntos.

*Figura 5.6: Carteras para metales. Pág. 70*

El sector minero incluye cuatro metales: aluminio, cobre, oro y plata. La figura ilustra que tanto el cobre como el aluminio tenían mayores riesgos asociados con sus inversiones en comparación con los rendimientos anualizados. Además, el oro y la plata presentaban los mayores rendimientos anualizados, aunque el oro tenía la mejor cartera en términos de rendimientos.

### **5.2.1. Carteras notables**

#### **Riesgo mínimo**

De los cuatro metales en los que se ha invertido fuertemente, el análisis de la cartera de riesgo mínimo muestra que el oro tiene el riesgo mínimo más alto con un 90.3%. Los otros incluyen Aluminio con 8.2%, cobre con 1.5% y plata con 0.0%.

*Figura 5.7: Composición cartera mínimo riesgo metales. Pág. 71*

#### **Máxima rentabilidad**

La figura muestra que la plata es el metal más rentable, ya que su rentabilidad máxima en la cartera fue del 100%. Los demás metales restantes tuvieron un 0.0% de rentabilidad máxima según los resultados del análisis de la cartera.

*Figura 5.8: Composición cartera máxima rentabilidad metales. Pág. 72*

### Máximo ratio de Sharpe

La figura muestra que el oro tiene el índice de Sharpe máximo, seguido por la plata. El oro alcanza hasta el 95% del índice de Sharpe máximo, lo que indica que es el metal con mejor desempeño en términos de este índice, mientras que la plata sigue con solo un 5%. Los otros metales, como el cobre y el aluminio, no tienen ninguna composición en los índices de Sharpe máximos.

*Figura 5.9: Composición cartera máximo ratio de Sharpe metales. Pág. 73*

### 5.2.2. Comparación de carteras

La tabla muestra que la máxima rentabilidad en el sector mineral resulta en un rendimiento medio del 4.444%, con un riesgo de inversión del 32.338% y un ratio de Sharpe del 13.742%. La cartera de menor riesgo presenta el riesgo más bajo, con un 15.826%.

Cartera	Retorno Medio	Riesgo	Ratio de Sharpe
Riesgo Mínimo	-0.011821610	0.1582567	-0.07469896
Máxima Rentabilidad	0.044438201	0.3233803	0.13741779
Máximo Ratio Sharpe	0.008767525	0.1661936	0.05275489

### Comparación de ganancias

La figura muestra que durante el año, las empresas invirtieron más en aluminio y oro. A pesar de estas inversiones, la plata generó los mayores rendimientos en comparación con los otros tres minerales.

*Figura 5.10: Comparación de ganancias de inversión en metales. Pág. 74*

## 5.3. Cartera del sector energía

La figura representa con las carteras a estudiar. En el eje y se graficaron los rendimientos anualizados frente a los riesgos en el eje x, con cada una de las carteras representadas por puntos.

*Figura 5.11: Carteras para energía. Pág. 75*

### 5.3.1. Carteras notables

#### Riesgo mínimo

El sector, con solo dos tipos de energía en los cuales invertir, como el petróleo y el gas, muestra en el análisis de riesgos mínimos que la inversión en gas tiene el riesgo más alto en comparación con la inversión en gas. Podemos observar que la cartera está compuesta por un 80% de petróleo y un 20% de gas. Por lo tanto, la inversión en gas se considera más arriesgada en comparación con la inversión en energía de petróleo (ver figura).

*Figura 5.12: Composición cartera mínimo riesgo energía. Pág. 76*

### **Máxima rentabilidad**

De los dos tipos de energía en los que se puede invertir, se observa que el gas proporcionará el mayor beneficio, ya que representa el 100% de la rentabilidad máxima de la cartera. Esto indica que la mayoría de las empresas que invierten en gas en lugar de petróleo obtienen mayores rendimientos

*Figura 5.13: Composición cartera máxima rentabilidad energía. Pág. 77*

### **Máximo ratio de Sharpe**

La figura se ha utilizado para resumir la composición según el índice de Sharpe máximo, el cual indica que el petróleo tiene el índice de Sharpe más alto con un 71%, en comparación con la inversión en gas, que alcanza un 29% de índice de Sharpe máximo.

*Figura 5.14: Composición cartera máximo ratio de Sharpe energía. Pág. 78*

### 5.3.2. Comparación de carteras

Al igual que en otros sectores, el sector energético, que incluye tanto gas como petróleo como oportunidades de negocio, muestra que la rentabilidad máxima genera un rendimiento promedio del 19.733%, con un riesgo del 86.608% y un índice de Sharpe del 22.785%

Cartera	Retorno Medio	Riesgo	Ratio Sharpe
Riesgo Mínimo	0.07718875	0.4559640	0.1692870
Máxima Rentabilidad	0.19733563	0.8660788	0.2278495
Máximo Ratio Sharpe	0.09050077	0.4632053	0.1953794

### **Comparación de ganancias**

La figura muestra que las inversiones realizadas por las empresas durante el período fueron mayores en petróleo que en gas.

*Figura 5.15: Comparación de ganancias de inversión en energía. Pág. 79*





## 6. Conclusiones

En este Trabajo de Fin de Grado, hemos abordado el desafío de la selección y optimización de carteras de inversión basadas en materias primas, siguiendo la guía del modelo de Markowitz. Para ello, hemos trabajado con datos reales de los mercados de diversas materias primas, entre las que se incluyen algodón, aluminio, café, cobre, gas, oro, petróleo, plata, soja y trigo.

Logramos trazar la representación gráfica de las carteras que ofrecen el máximo retorno esperado para un nivel de riesgo determinado. Entre estas carteras, se destacan tres que resultan especialmente significativas: la de máximo retorno, la de mínimo riesgo y la de máximo ratio de Sharpe. Cada una tiene implicaciones únicas para los inversores, dependiendo de sus objetivos específicos y su tolerancia al riesgo.

Cuando comparamos las diversas carteras de materias primas, descubrimos que la que presentaba el máximo ratio de Sharpe mostró el mejor comportamiento, logrando un equilibrio eficaz entre retorno y riesgo. Este hallazgo resalta la importancia de considerar tanto el rendimiento como el riesgo al momento de seleccionar una cartera de inversión.

Respecto a las herramientas utilizadas, encontramos que R ha resultado extremadamente útil para la recopilación, análisis y visualización de datos. La capacidad de R para manejar conjuntos de datos complejos y realizar cálculos estadísticos sofisticados ha sido esencial para la obtención de la evaluación de las carteras de inversión.

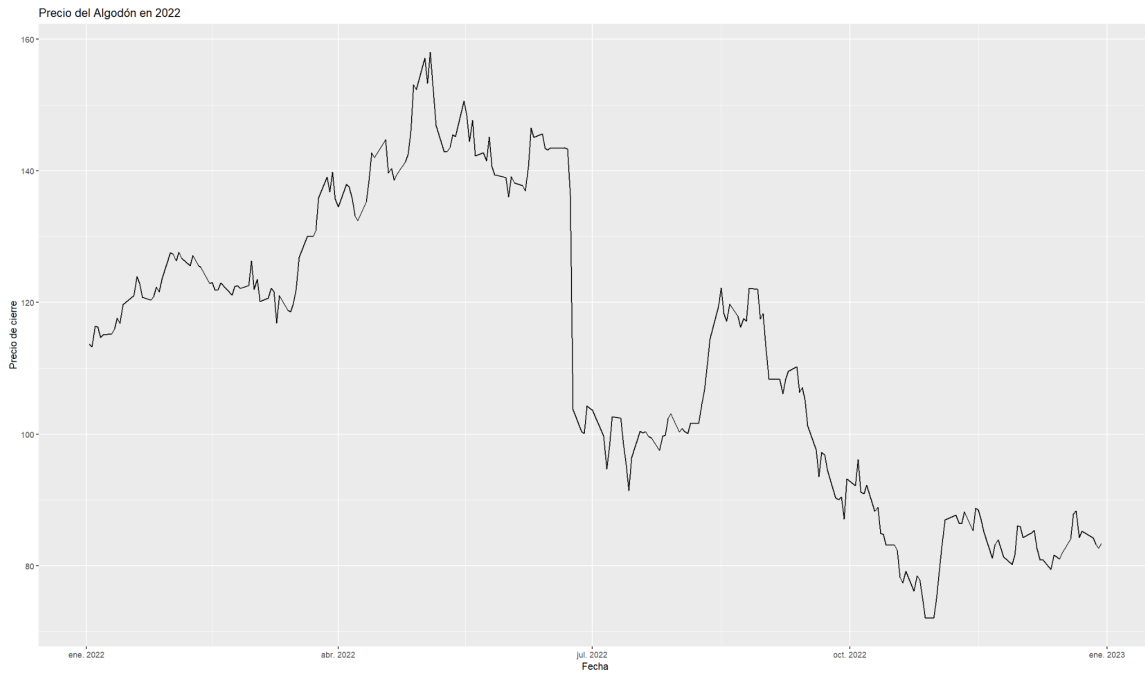


# BIBLIOGRAFÍA

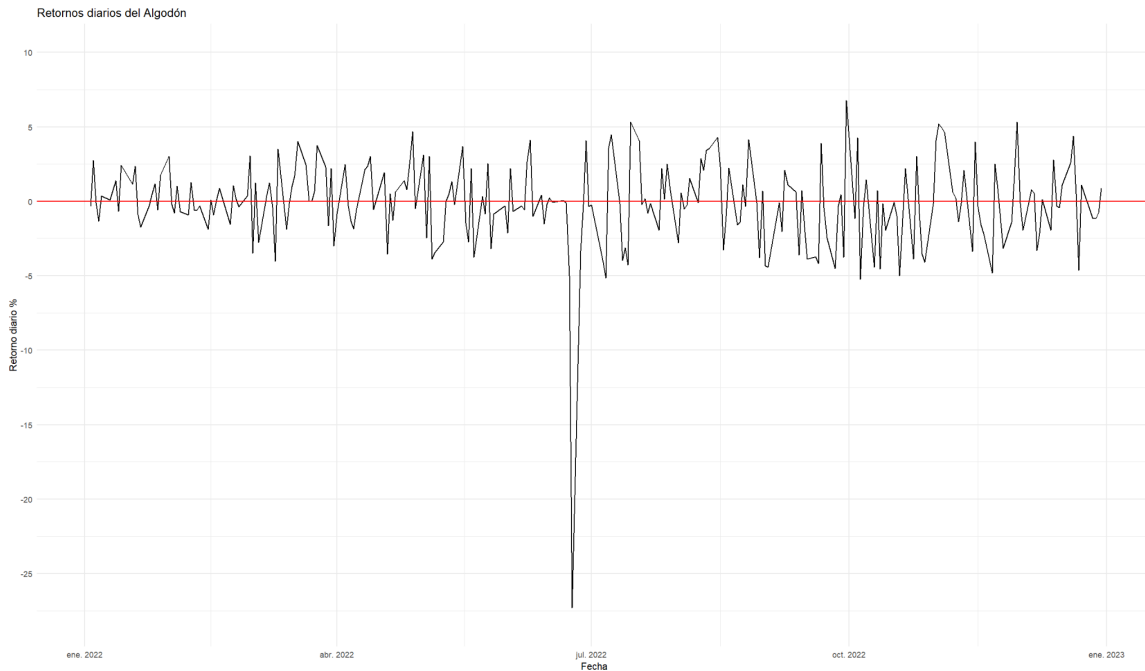
- Erb, C. B., & Harvey, C. R. (2006). The strategic and tactical value of commodity futures. *Financial Analysts Journal*, 62(2), 69-97.
- Gorton, G. B., & Rouwenhorst, K. G. (2006). Facts and Fantasies about Commodity Futures. *Financial Analysts Journal*, 62(2), 47-68.
- Büyükşahin, B., Haigh, M. S., & Robe, M. A. (2008). Commodities and equities: A "market of one"?. *The Journal of Alternative Investments*, 10(3), 45-62.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- Erb, C. B., & Harvey, C. R. (2013). Commodities for the Long Run. *Financial Analysts Journal*, 69(2), 20-41.
- Fabozzi, F. J., Füss, R., & Kaiser, D. G. (2008). *The handbook of commodity investing*. John Wiley & Sons.
- Kat, H. M., & Oomen, R. C. A. (2007). Portfolio optimization with commodities. *The Journal of Alternative Investments*, 10(3), 63-75.
- Meucci, A. (2005). *Risk and portfolio management*. Springer Science & Business Media.
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org>
- Peterson, B. G., & Carl, P. (2021). *PerformanceAnalytics: Econometric tools for performance and risk analysis*. R package version 2.0.4. <https://cran.r-project.org/package=PerformanceAnalytics>
- Wickham, H., & Bryan, J. (2019). *readxl: Read Excel files*. R package version 1.3.1. <https://cran.r-project.org/package=readxl>
- Komsta, L., & Novomestky, F. (2015). *moments: Moments, cumulants, skewness, kurtosis and related tests*. R package version 0.14. <https://cran.r-project.org/package=moments>
- Turlach, B. A., Weingessel, A., & Leisch, F. (2019). *quadprog: Functions to solve Quadratic Programming Problems*. R package version 1.5-8. <https://cran.r-project.org/package=quadprog>

- Wickham, H., François, R., Henry, L., & Müller, K. (2021). *dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. R package version 1.0.7. <https://cran.r-project.org/package=dplyr>
- Yahoo Finance. (2022). *Commodity Prices*. <https://finance.yahoo.com/commodities>

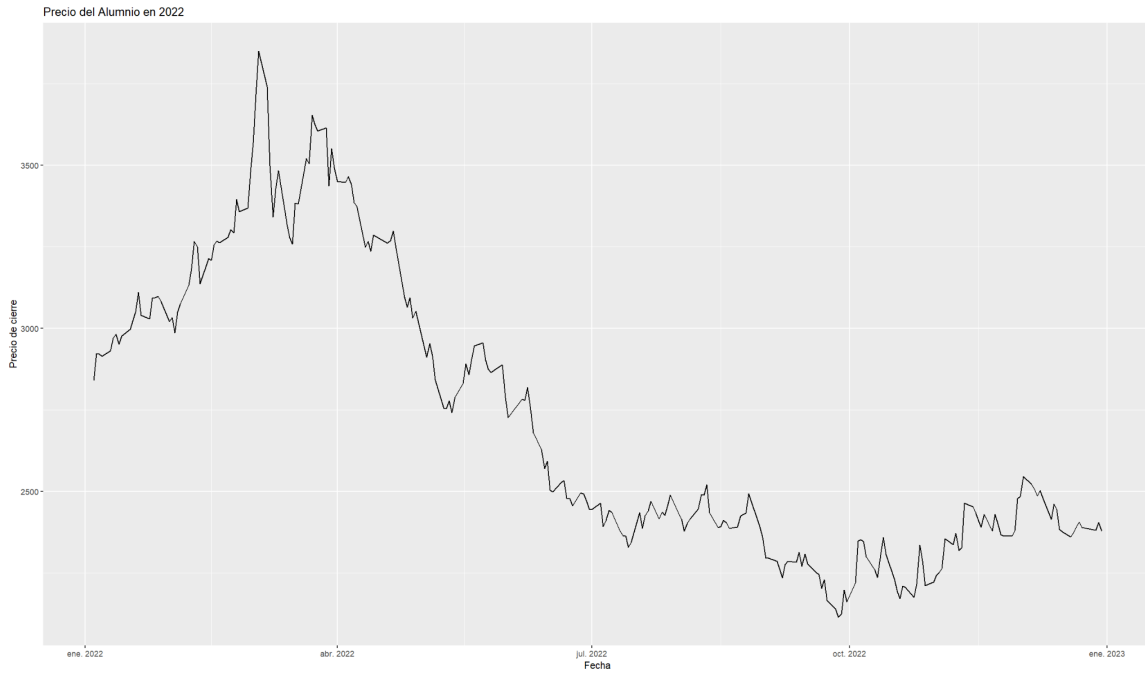
# APÉNDICE DE FIGURAS



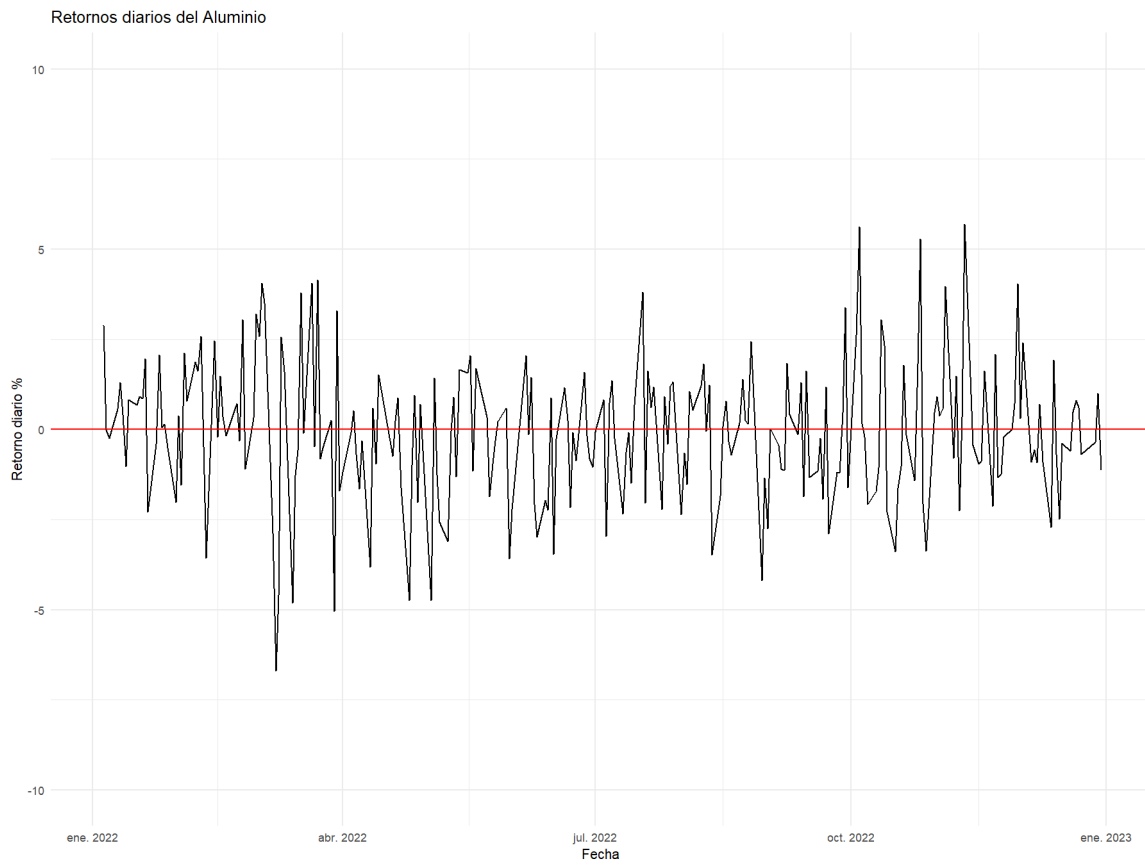
**Figura 4.1: Precios del algodón**



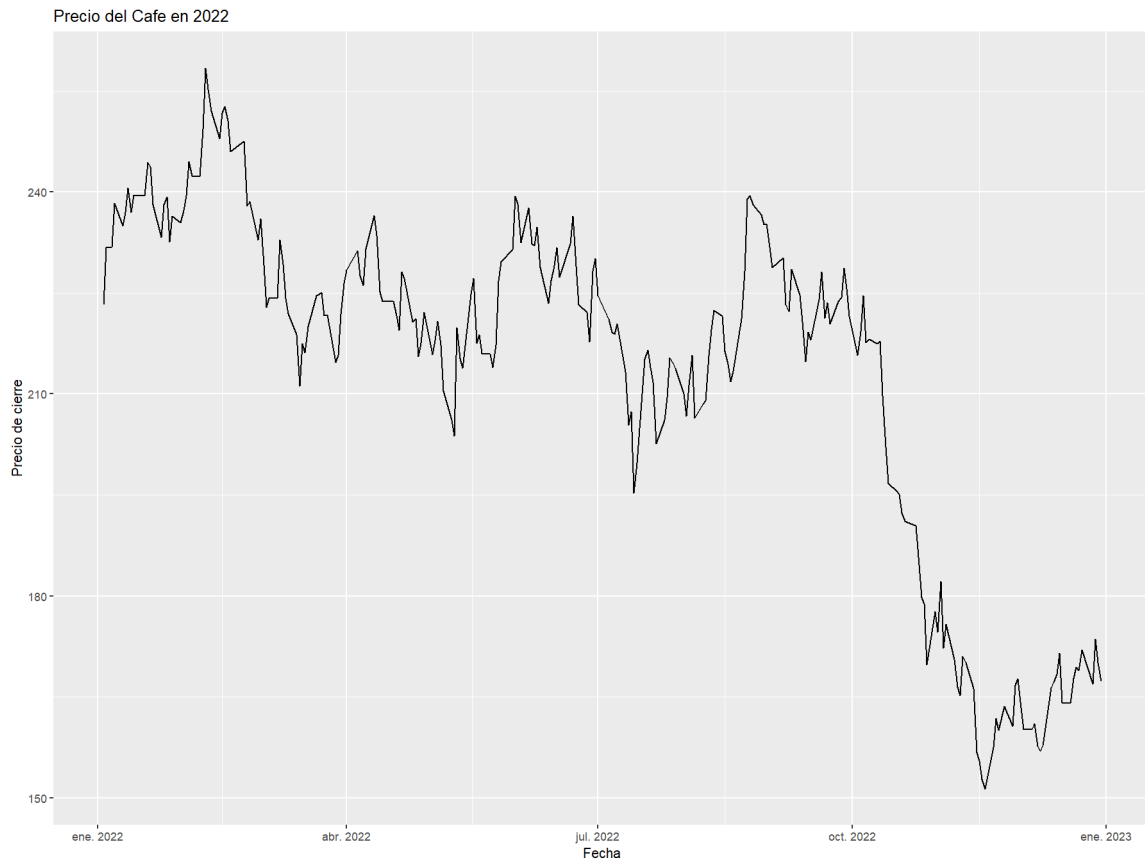
**Figura 4.2: Retornos del algodón**



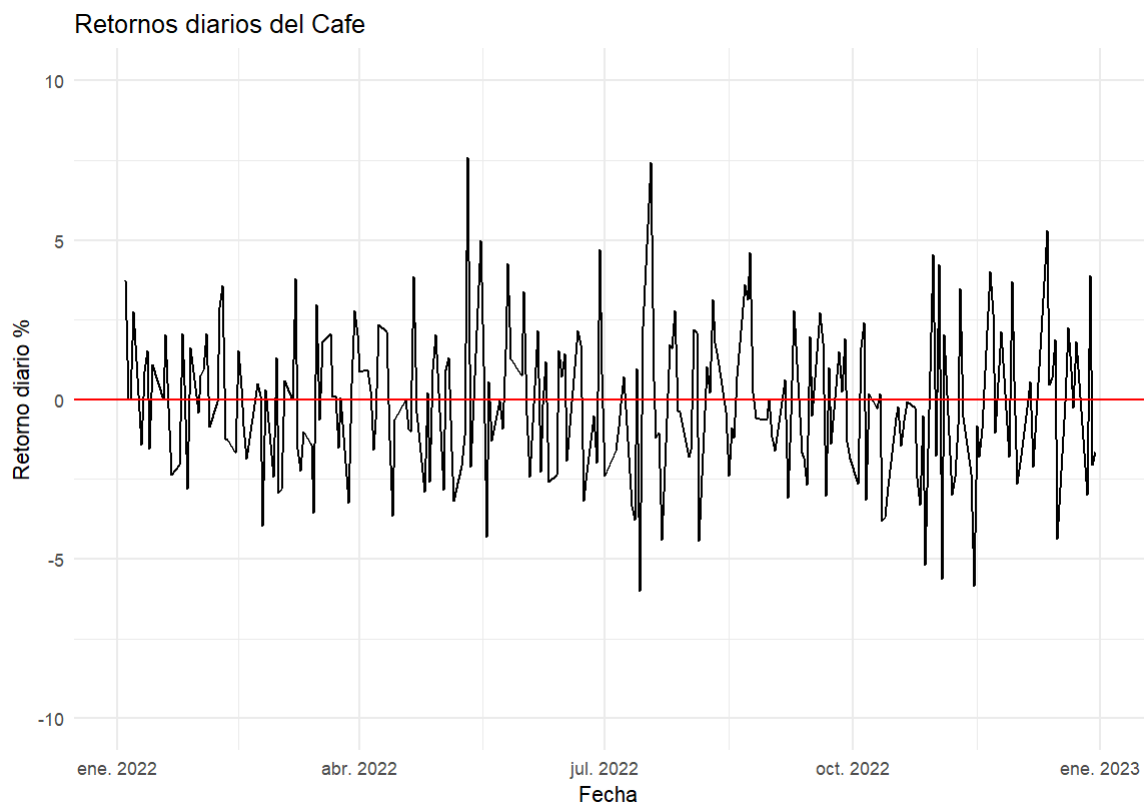
**Figura 4.3: Precios del aluminio**



**Figura 4.4: Retornos del aluminio**

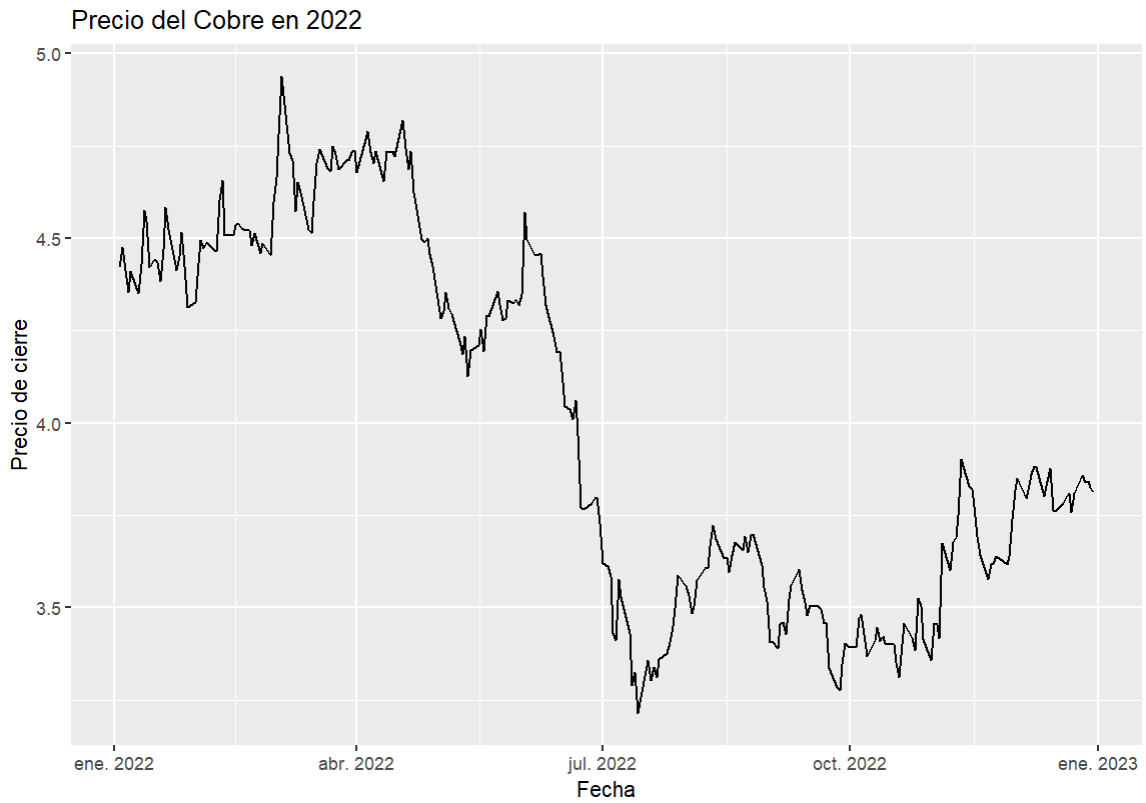


**Figura 4.5: Precios del café**

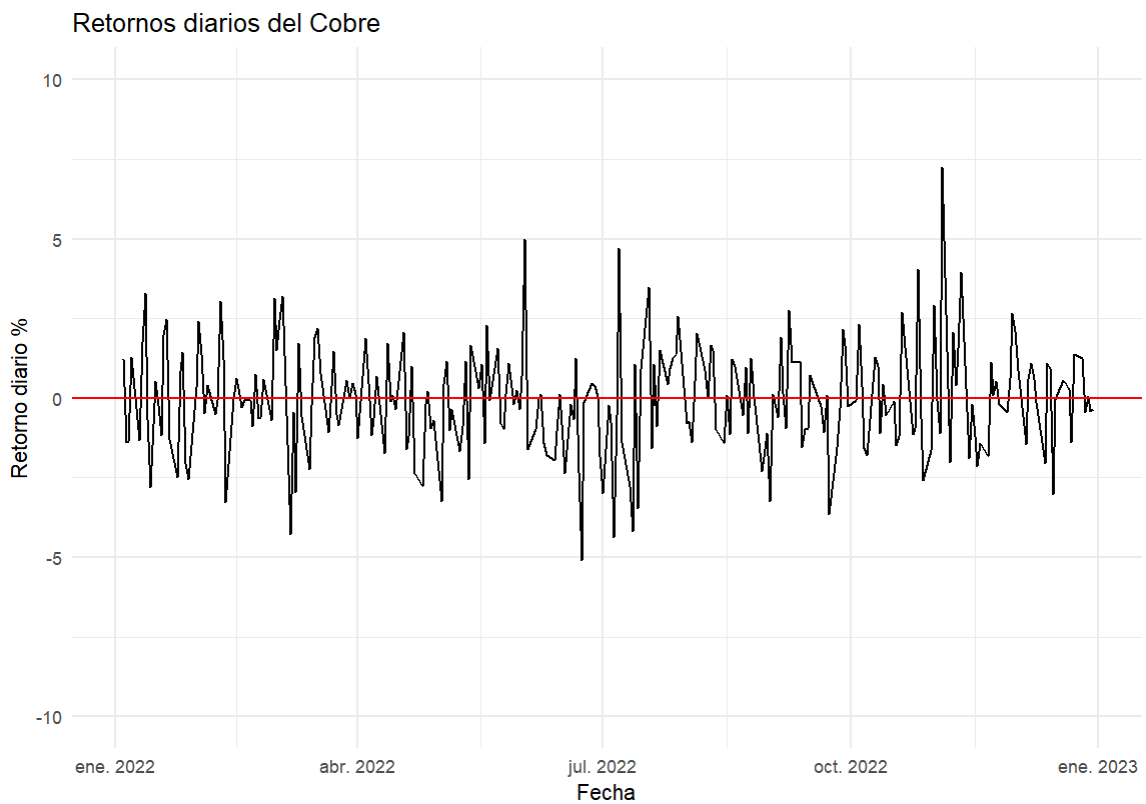


**Figura 4.6: Retornos del café**

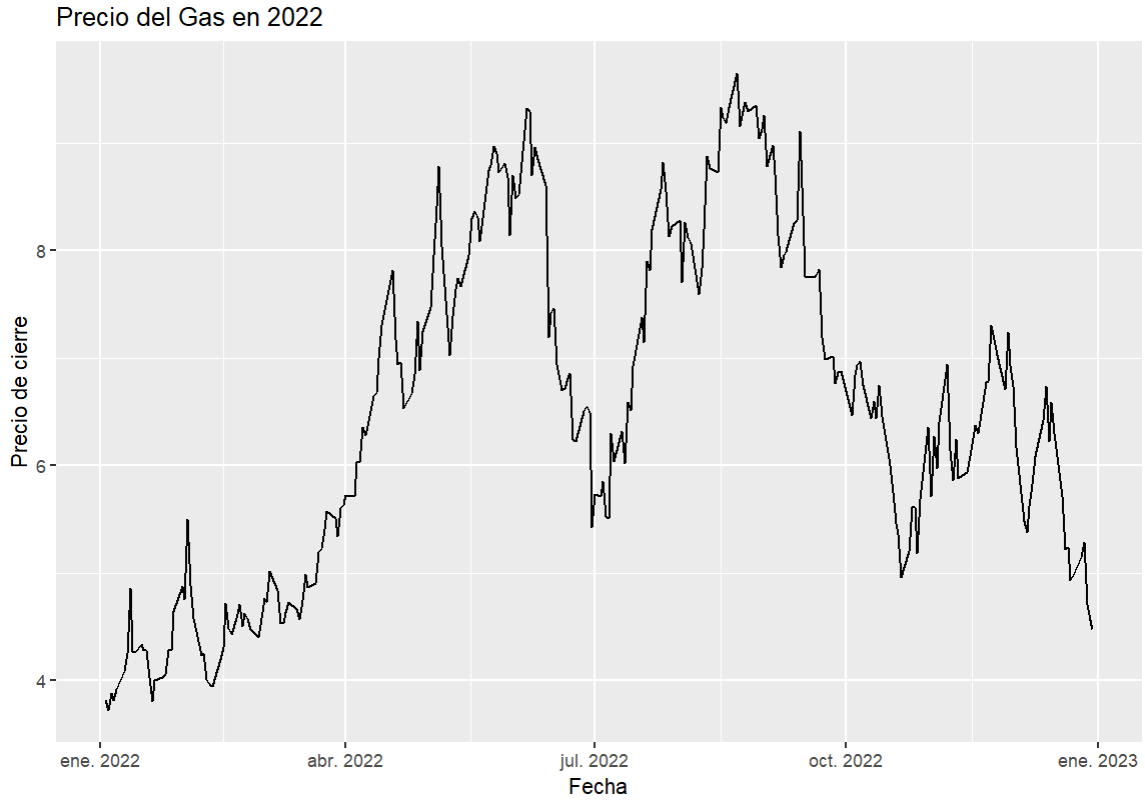




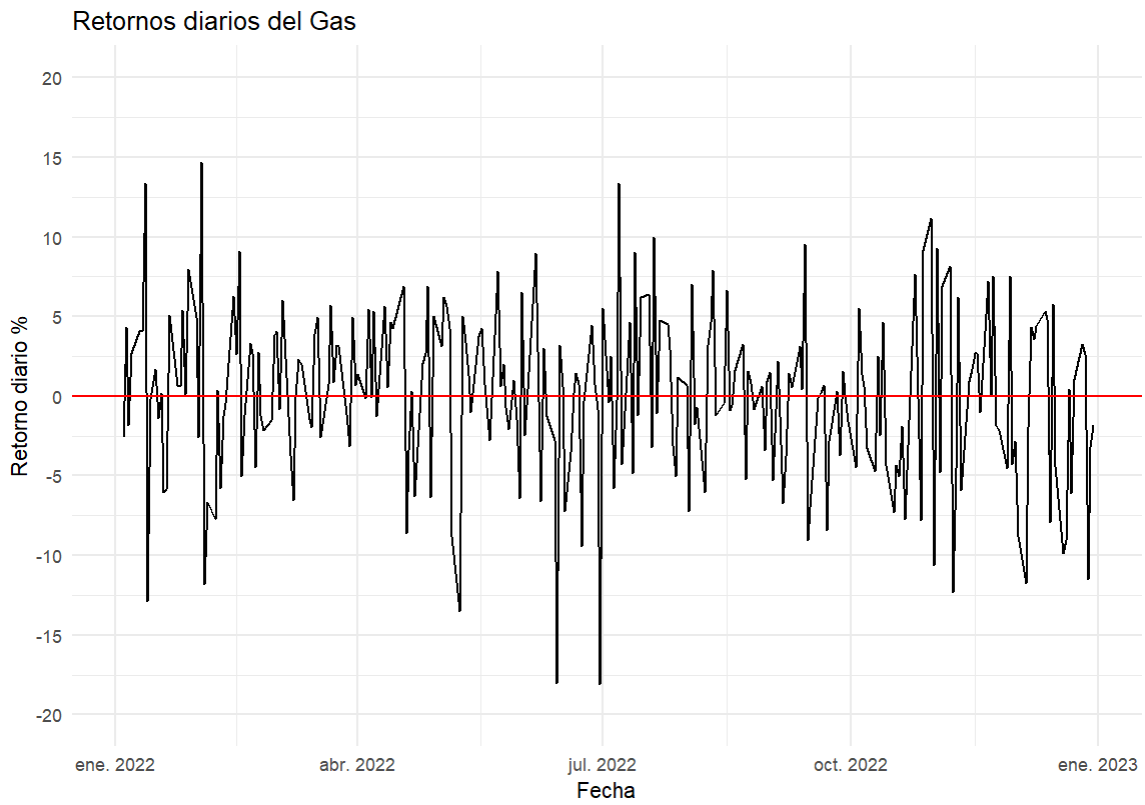
**Figura 4.7: Precios del cobre**



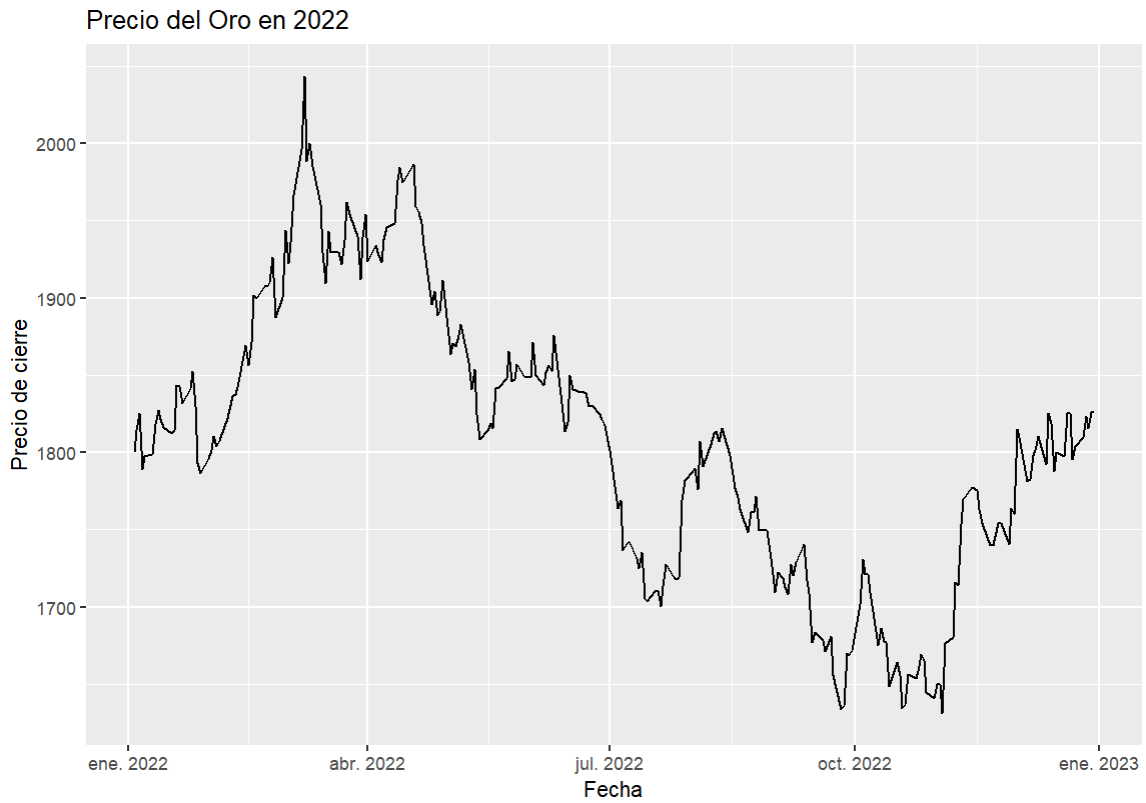
**Figura 4.8: Retornos del cobre**



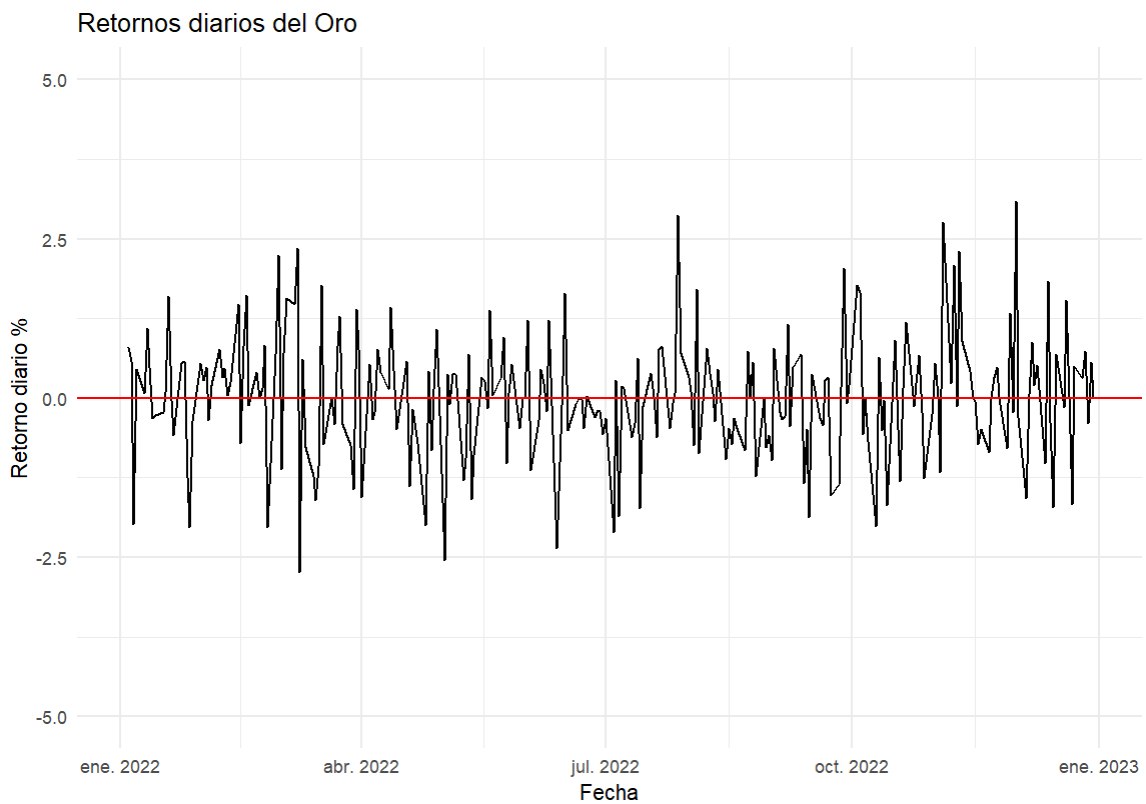
**Figura 4.9: Precios del gas**



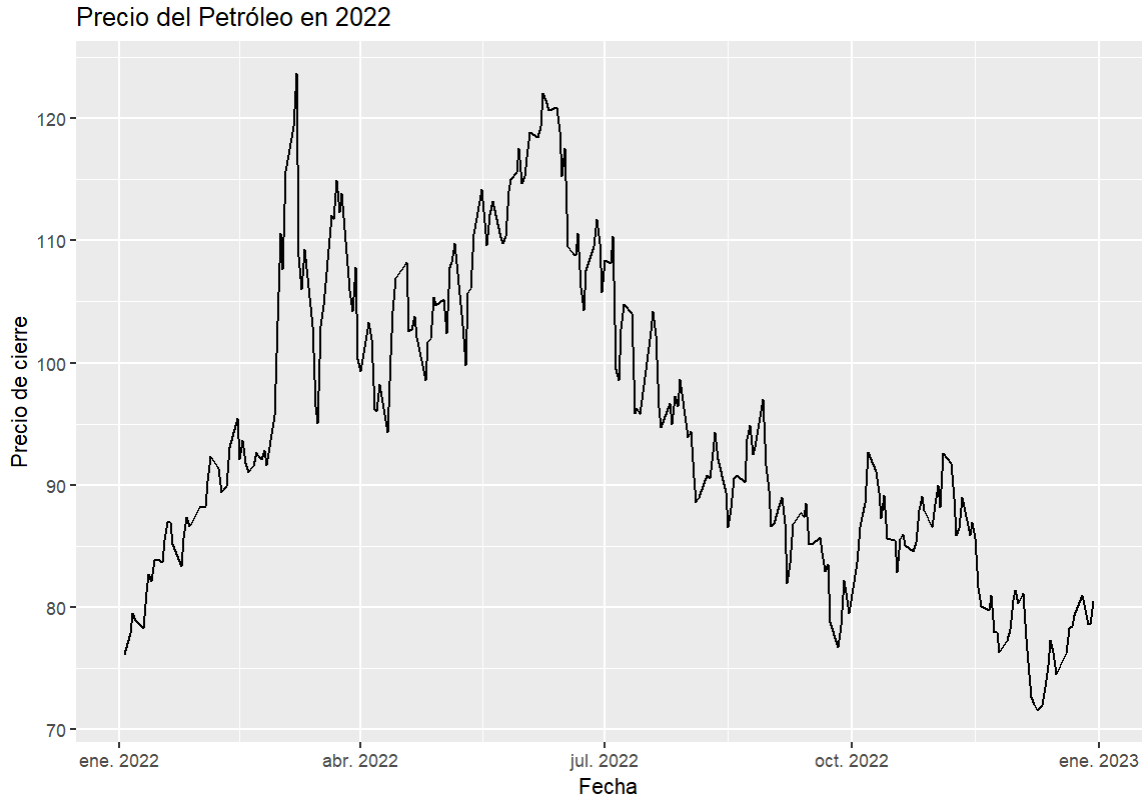
**Figura 4.10: Retornos del gas**



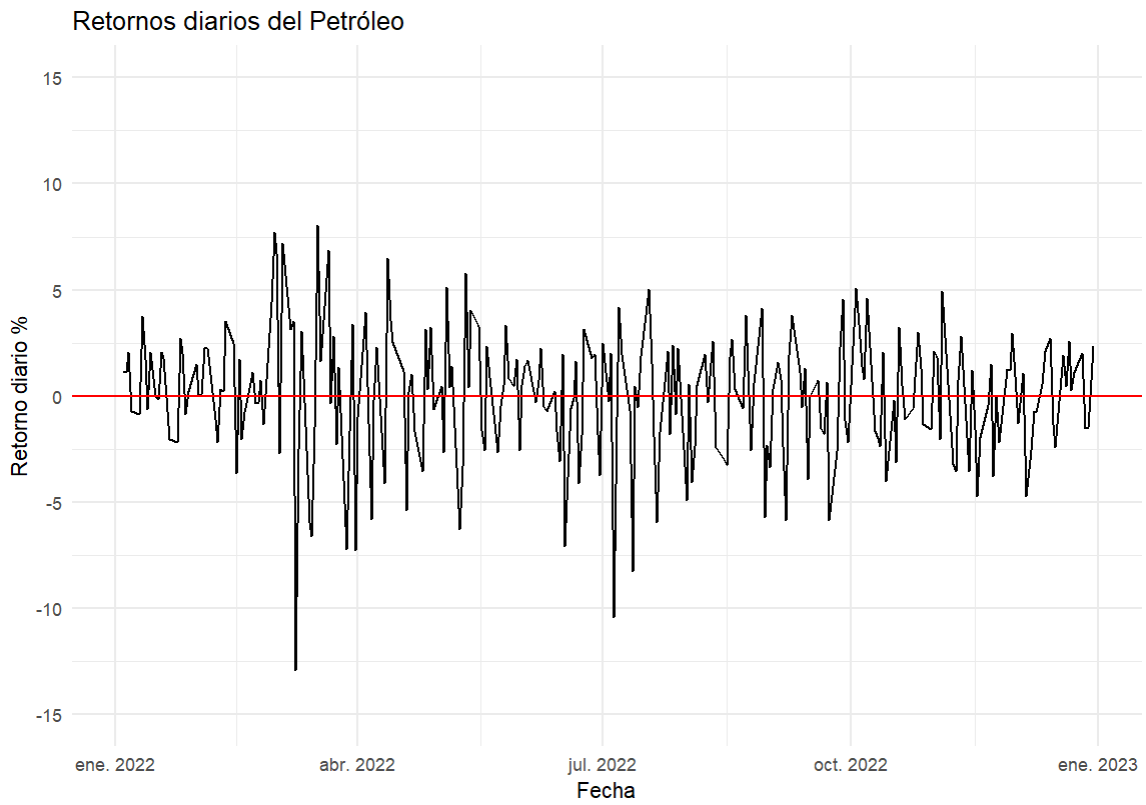
**Figura 4.11: Precios del oro**



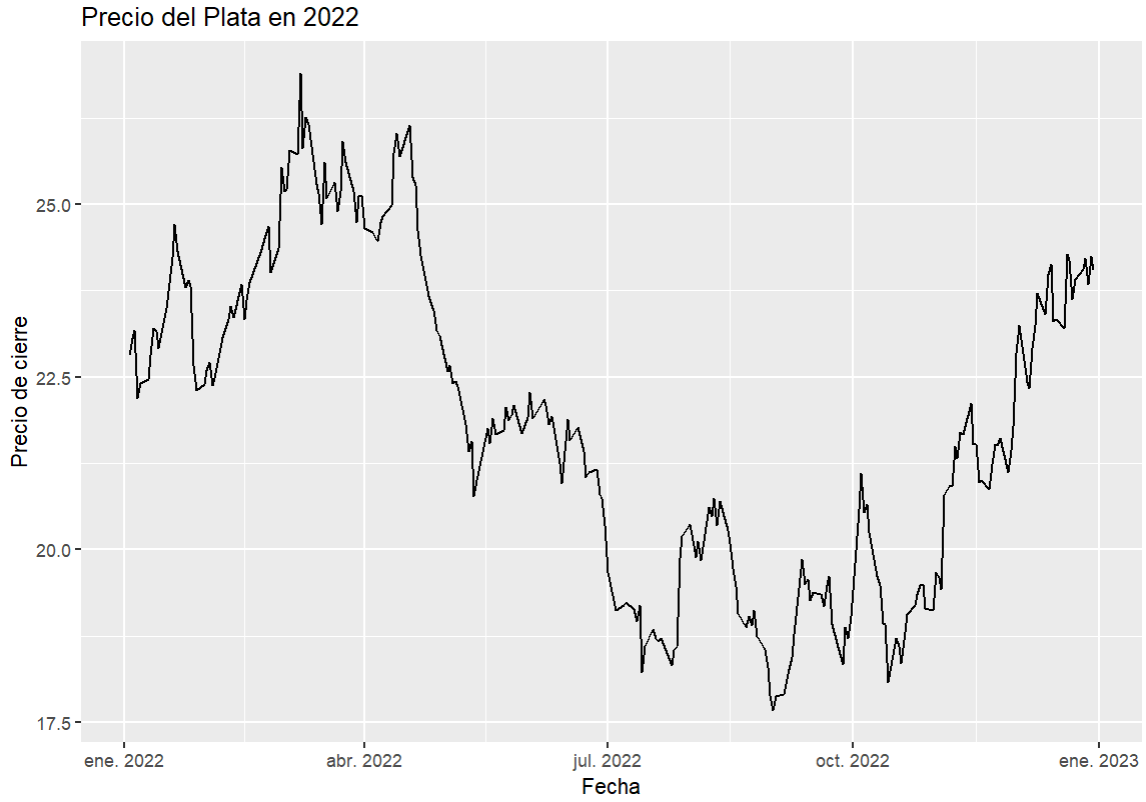
**Figura 4.12: Retornos del oro**



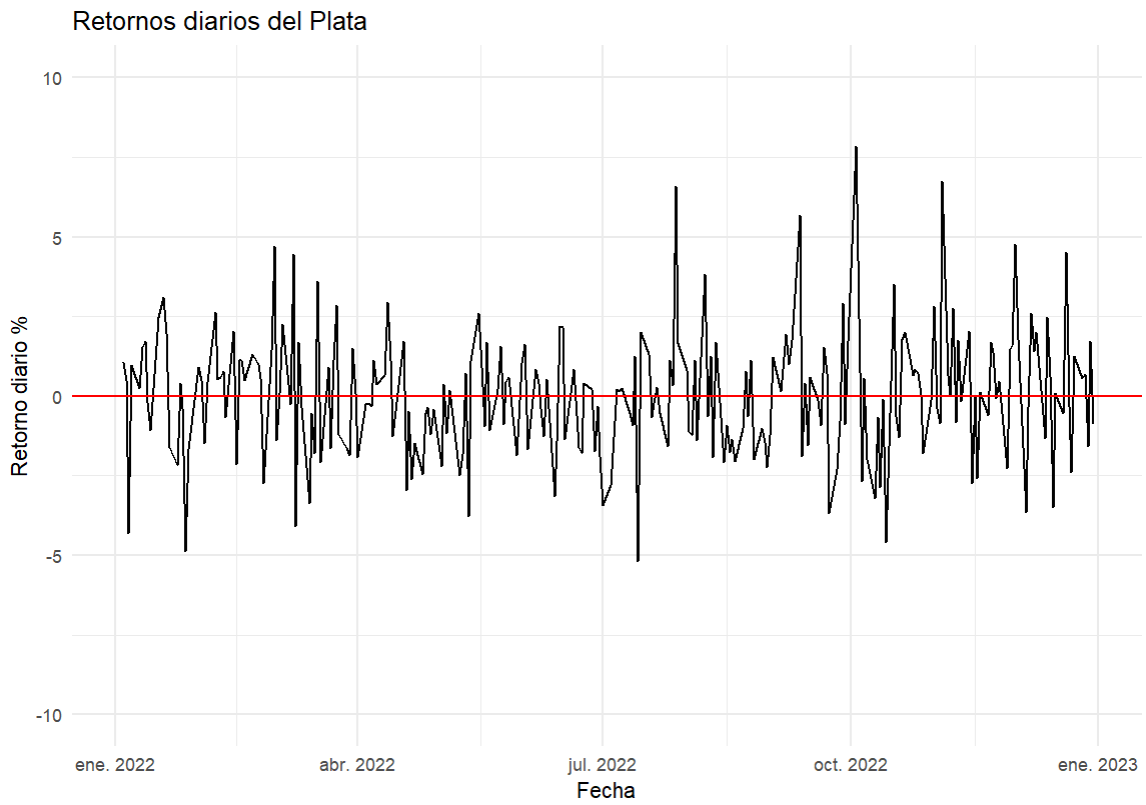
**Figura 4.13: Precios del petróleo**



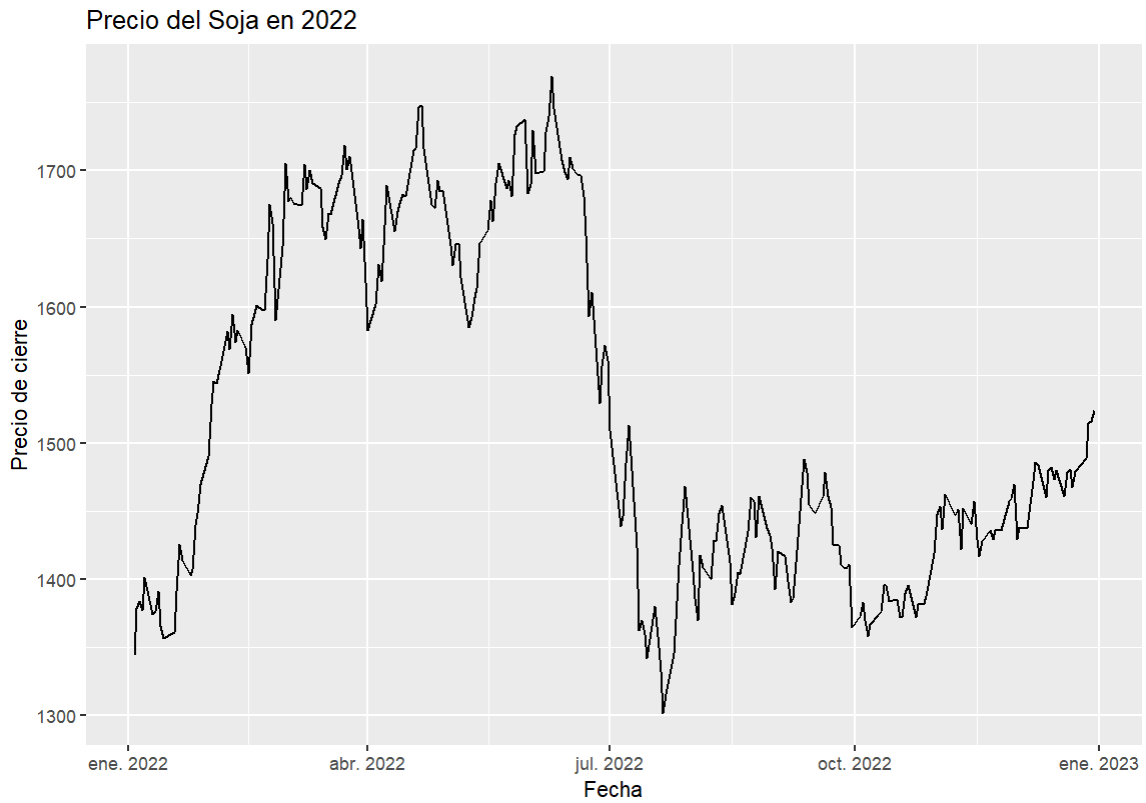
**Figura 4.14: Retornos del petróleo**



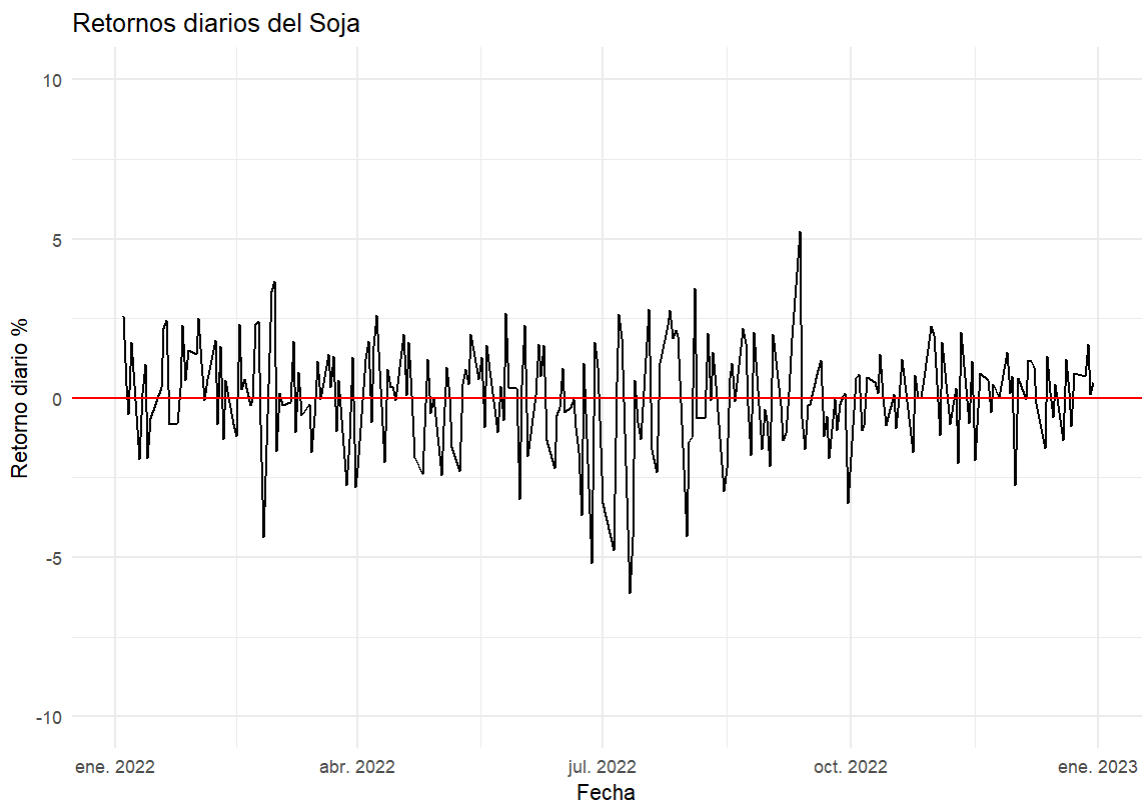
**Figura 4.15: Precios de la plata**



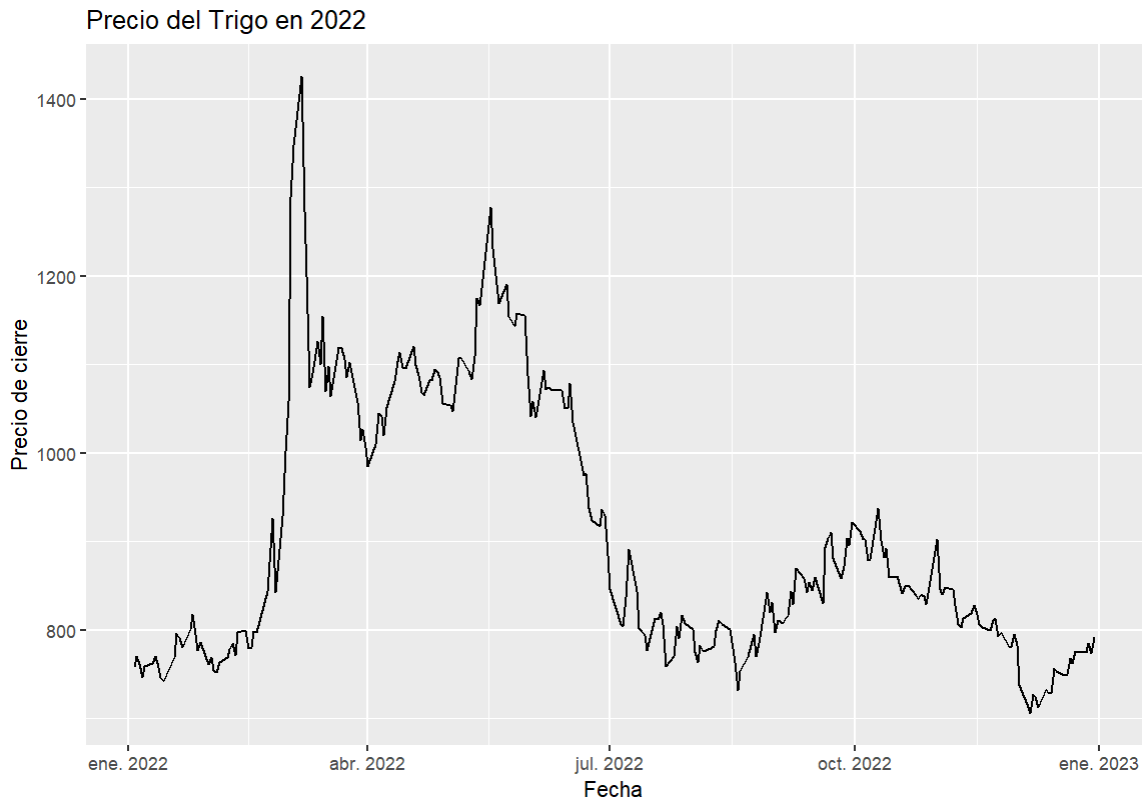
**Figura 4.16: Retornos de la plata**



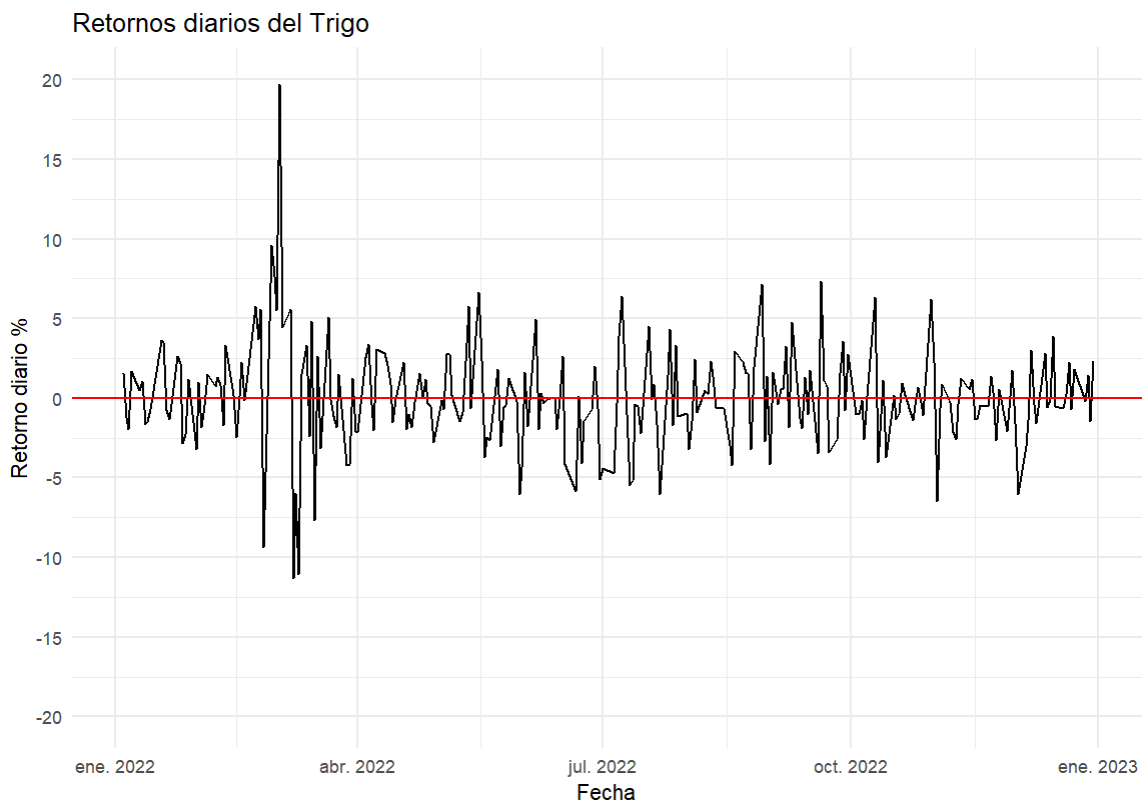
**Figura 4.17: Precios de la soja**



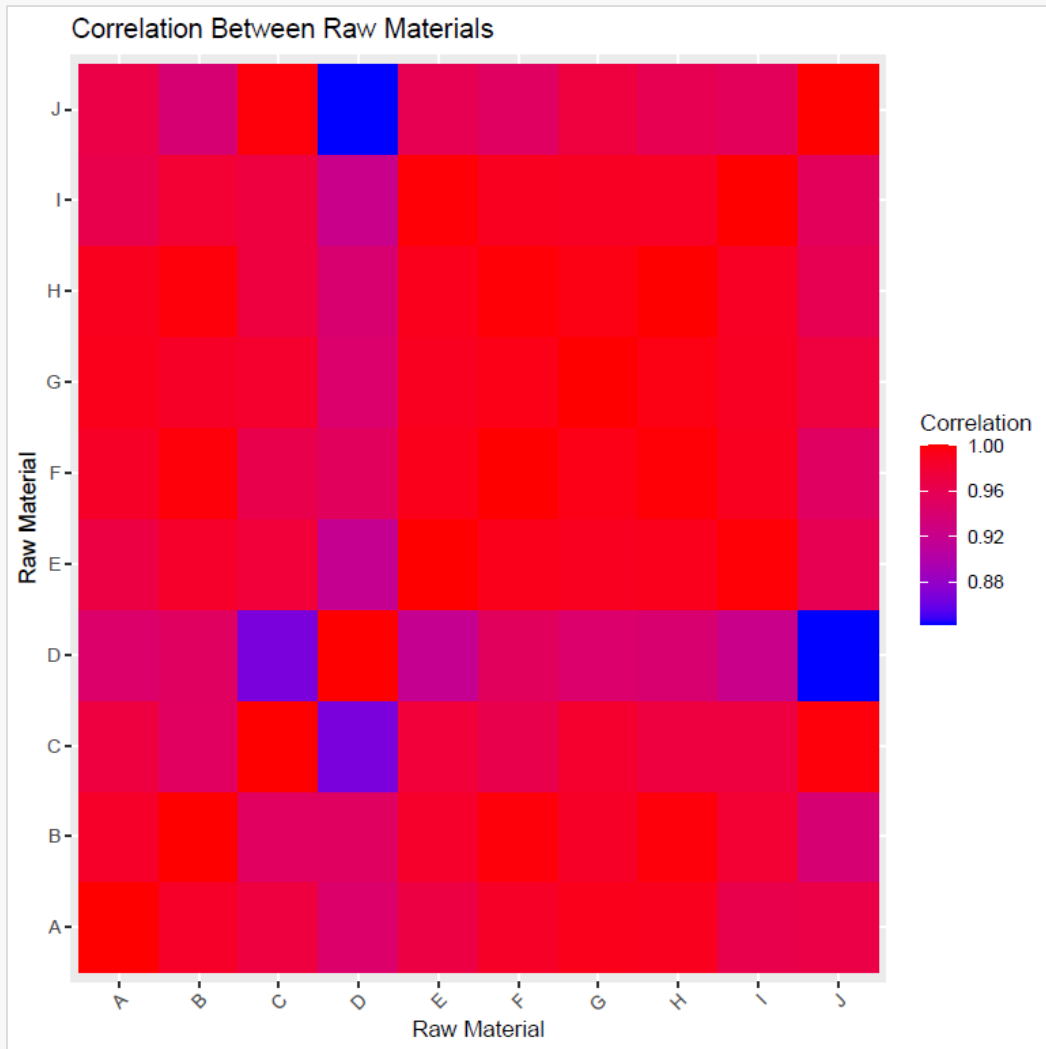
**Figura 4.18: Retornos de la soja**



**Figura 4.19: Precios del trigo**

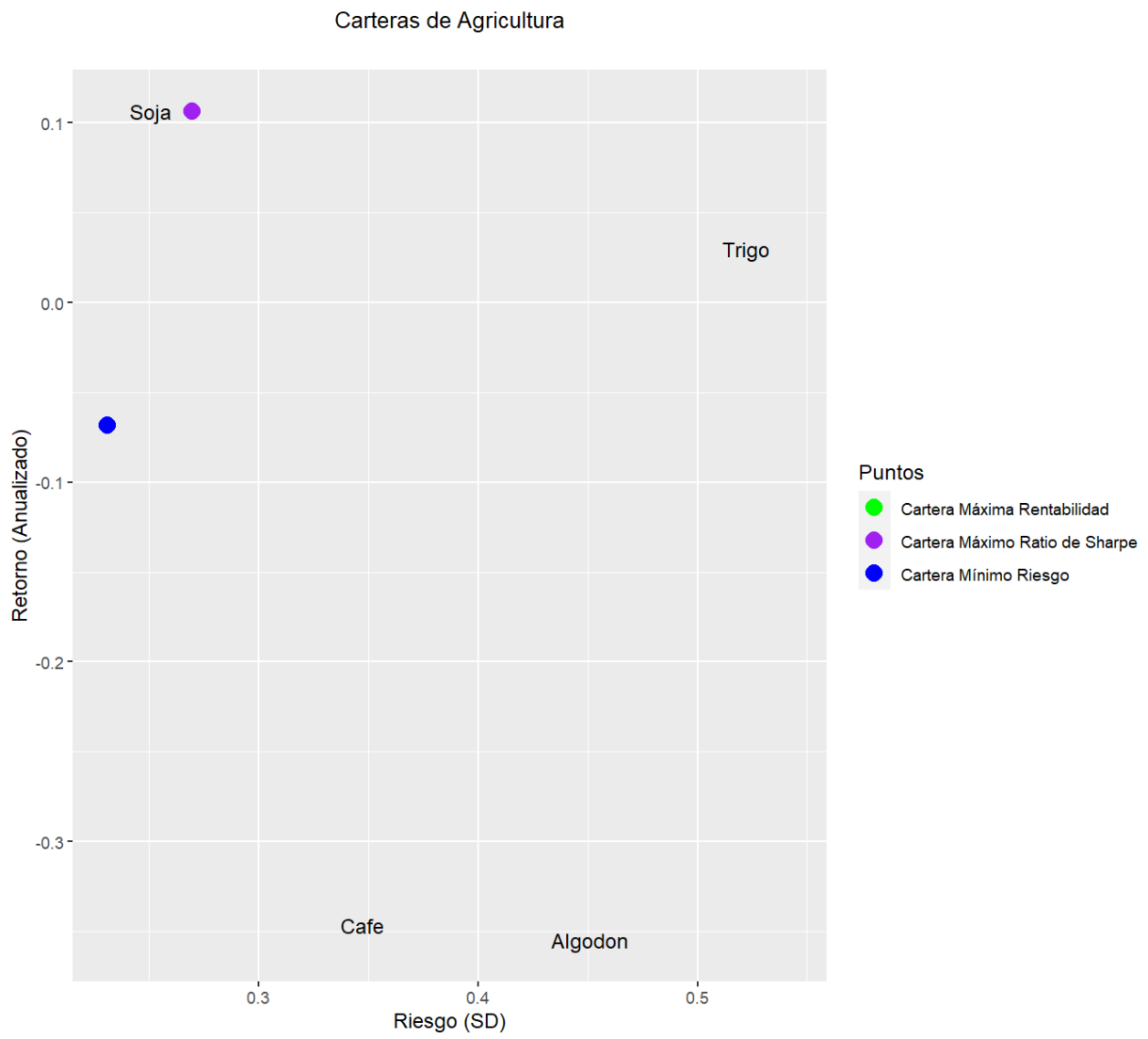


**Figura 4.20: Retornos del trigo**



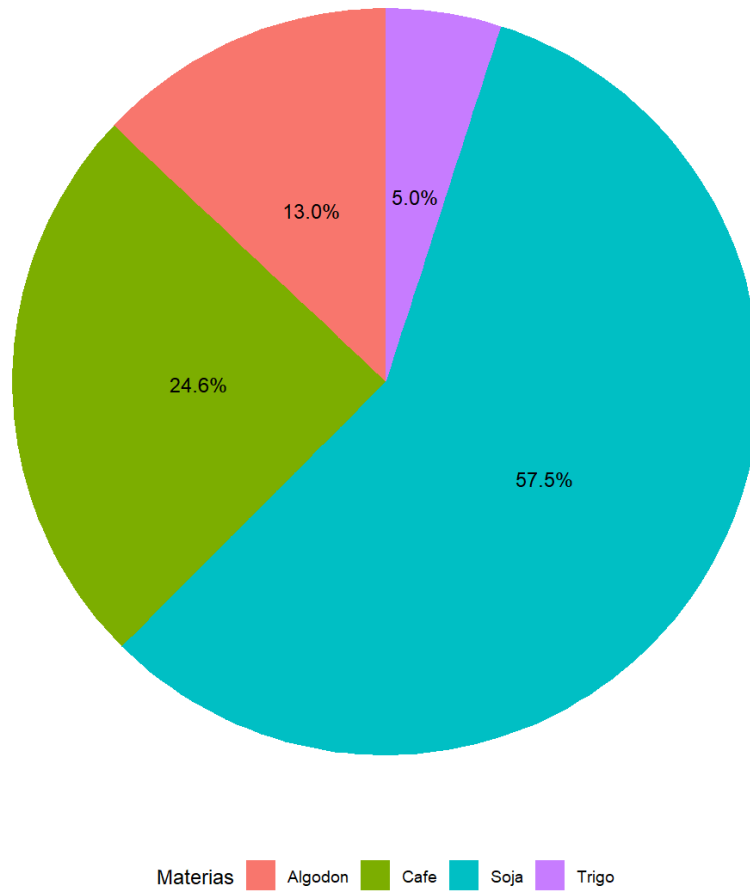
**Figura 4.21: Correlación entre materiales**





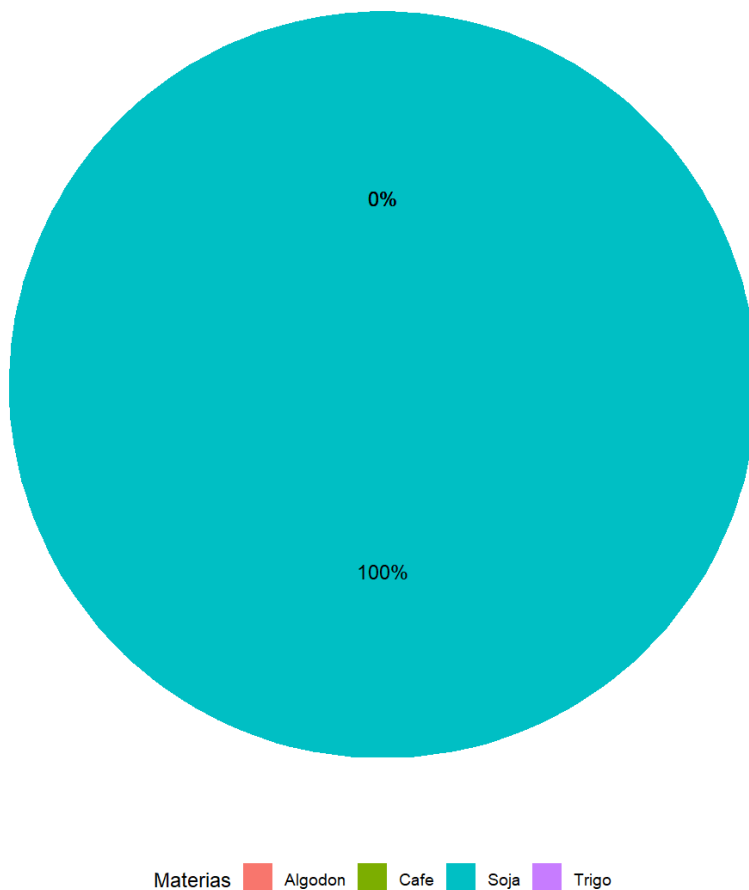
**Figura 5.1: Carteras para agricultura**

Composición cartera para Agricultura - Riesgo mínimo



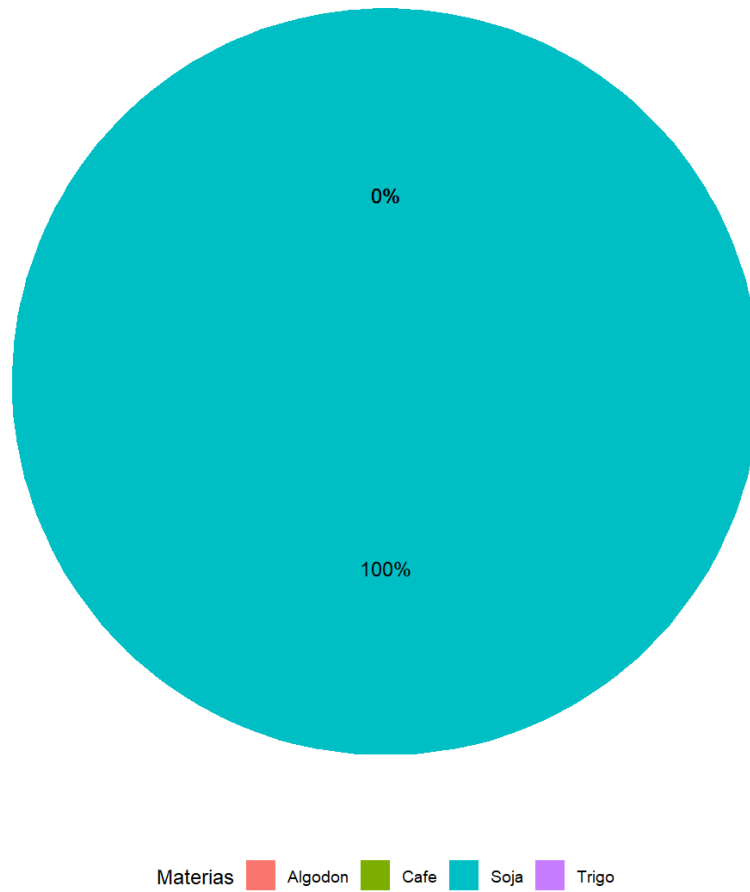
**Figura 5.2: Composición cartera mínimo riesgo agricultura**

Composición cartera para Agricultura - Máxima Rentabilidad



**Figura 5.3: Composición cartera máxima rentabilidad agricultura**

Composición cartera para Agricultura - Máximo Ratio de Sharpe



**Figura 5.4: Composición cartera máximo ratio de Sharpe agricultura**

Datos de inversion en Agricultura

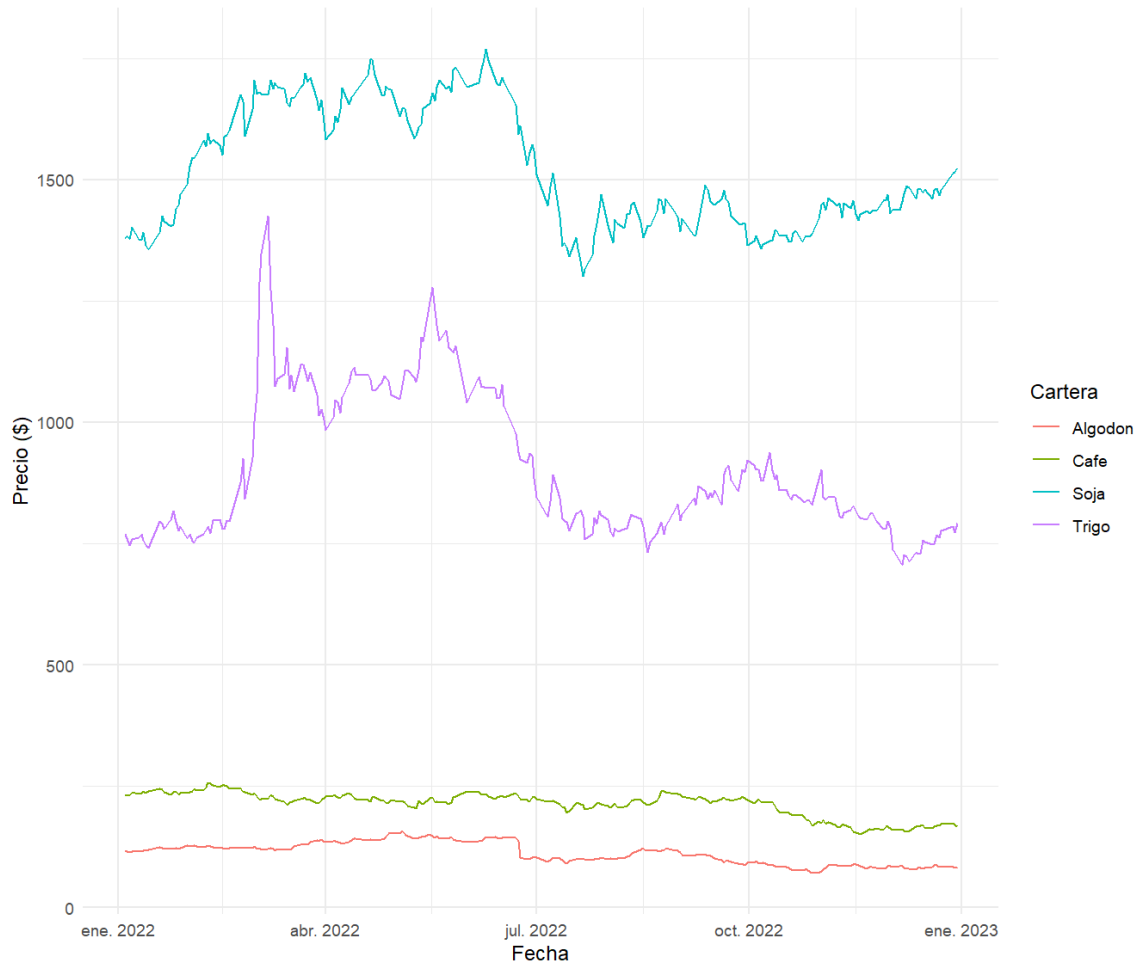
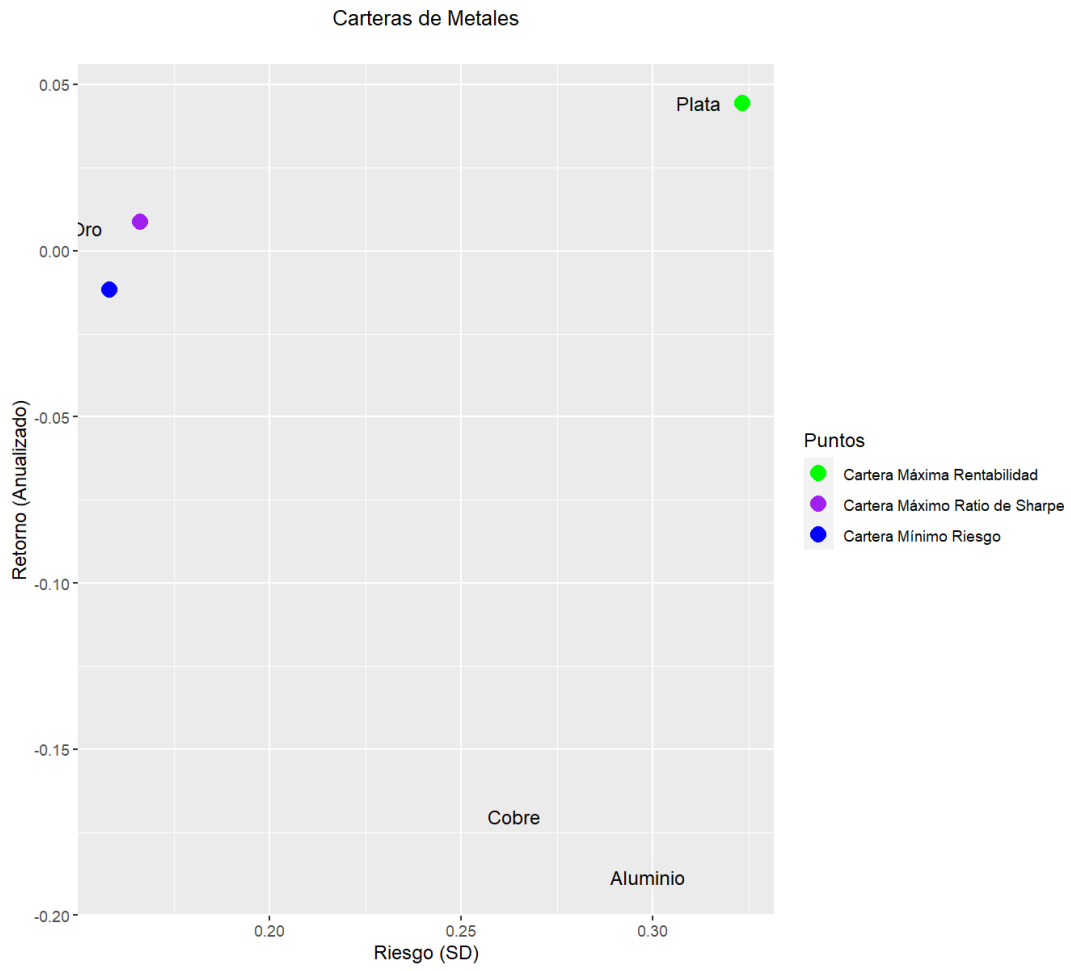
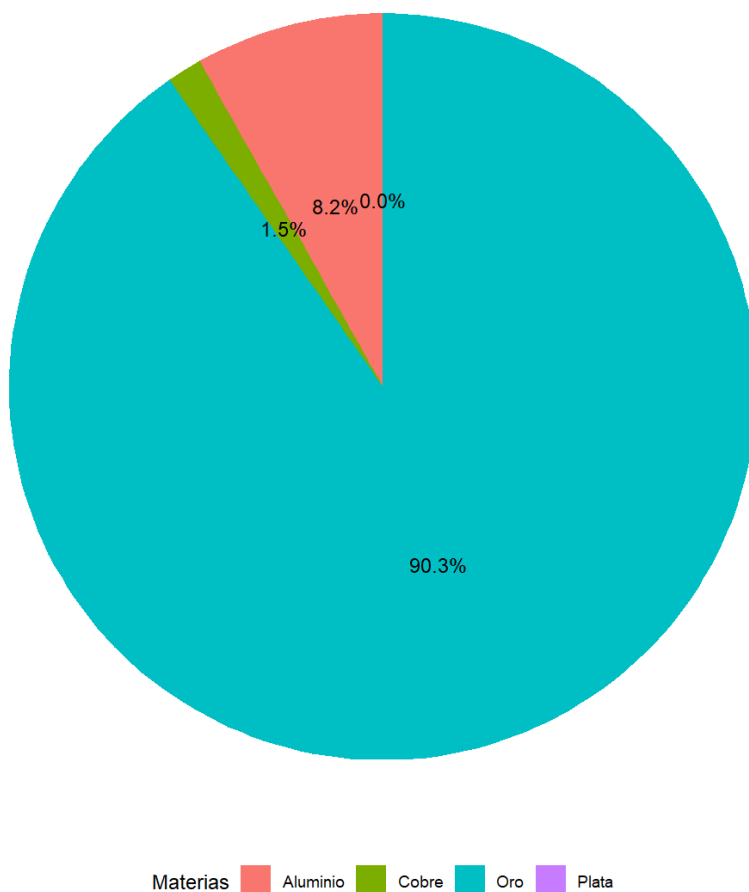


Figura 5.5: Comparación de ganancias de inversión en agricultura



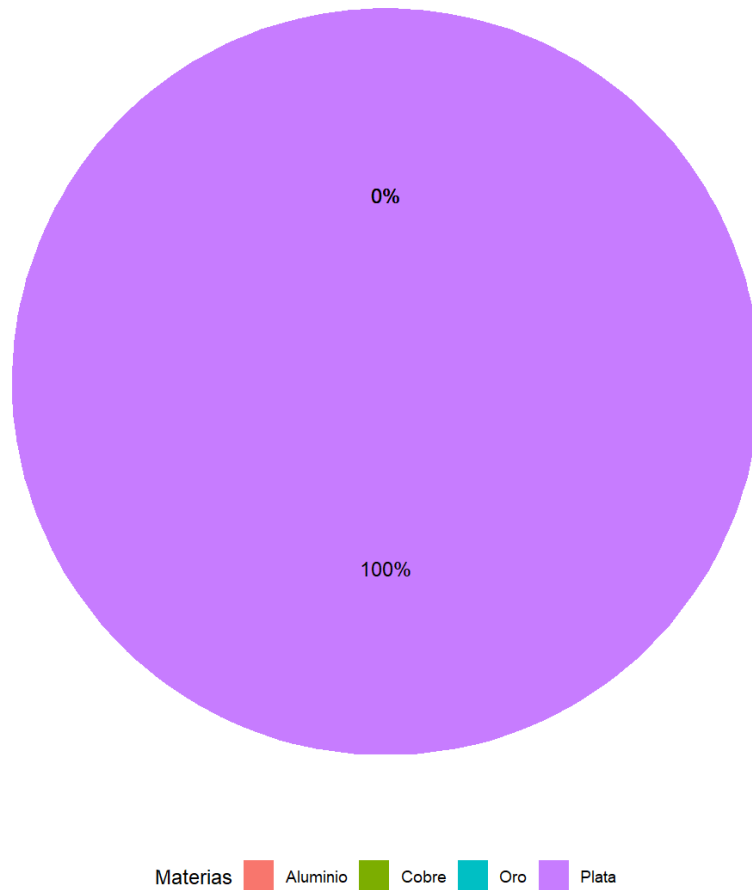
**Figura 5.6: Carteras para metales**

Composición cartera para Metales - Riesgo mínimo



**Figura 5.7: Composición cartera mínimo riesgo metales**

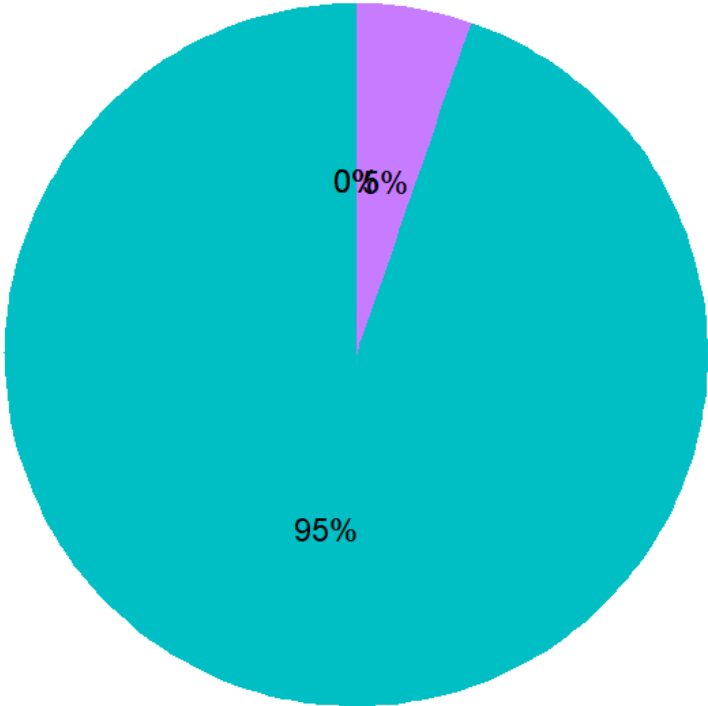
Composición cartera para Metales - Máxima Rentabilidad



**Figura 5.8: Composición cartera máxima rentabilidad metales**



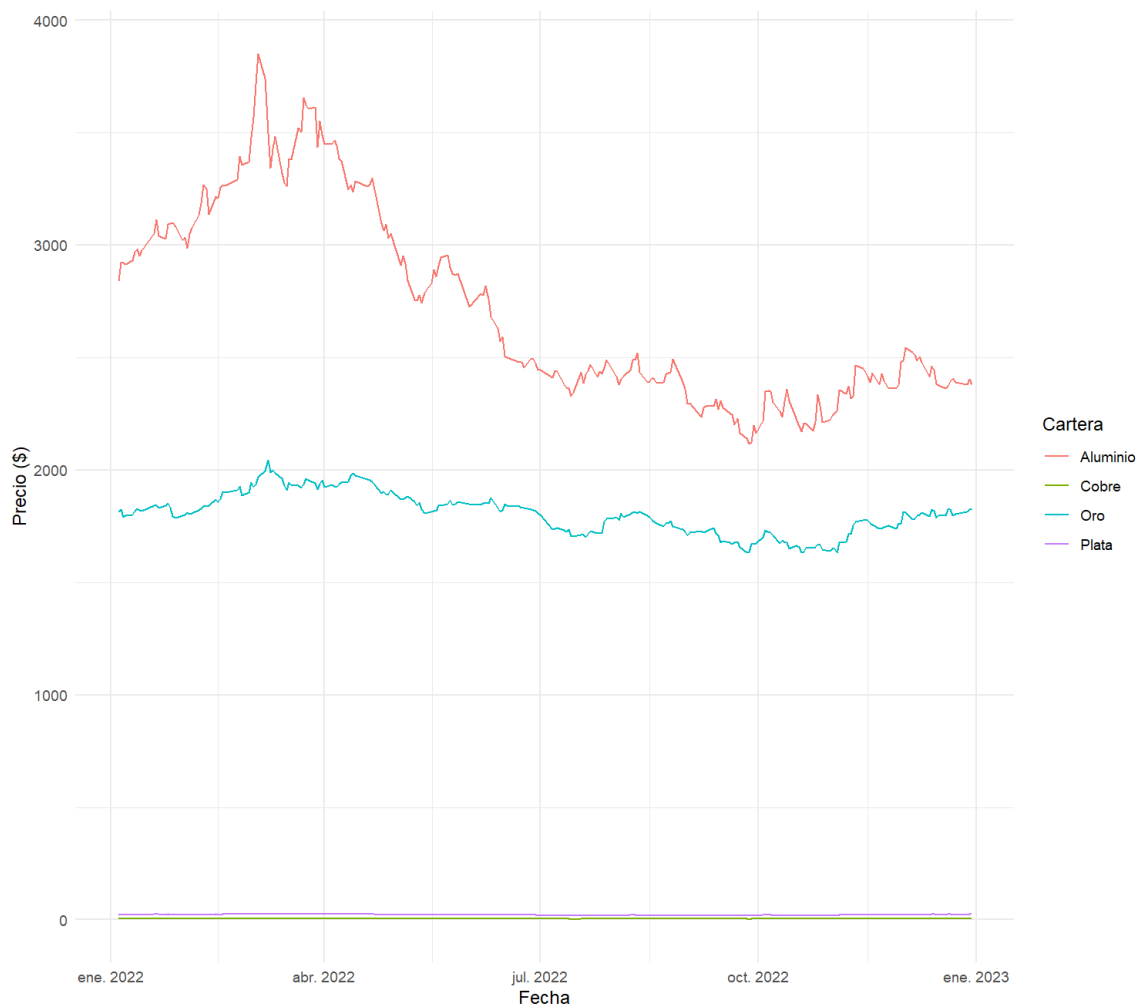
Composición cartera para Metales - Máximo Ratio de Sharpe



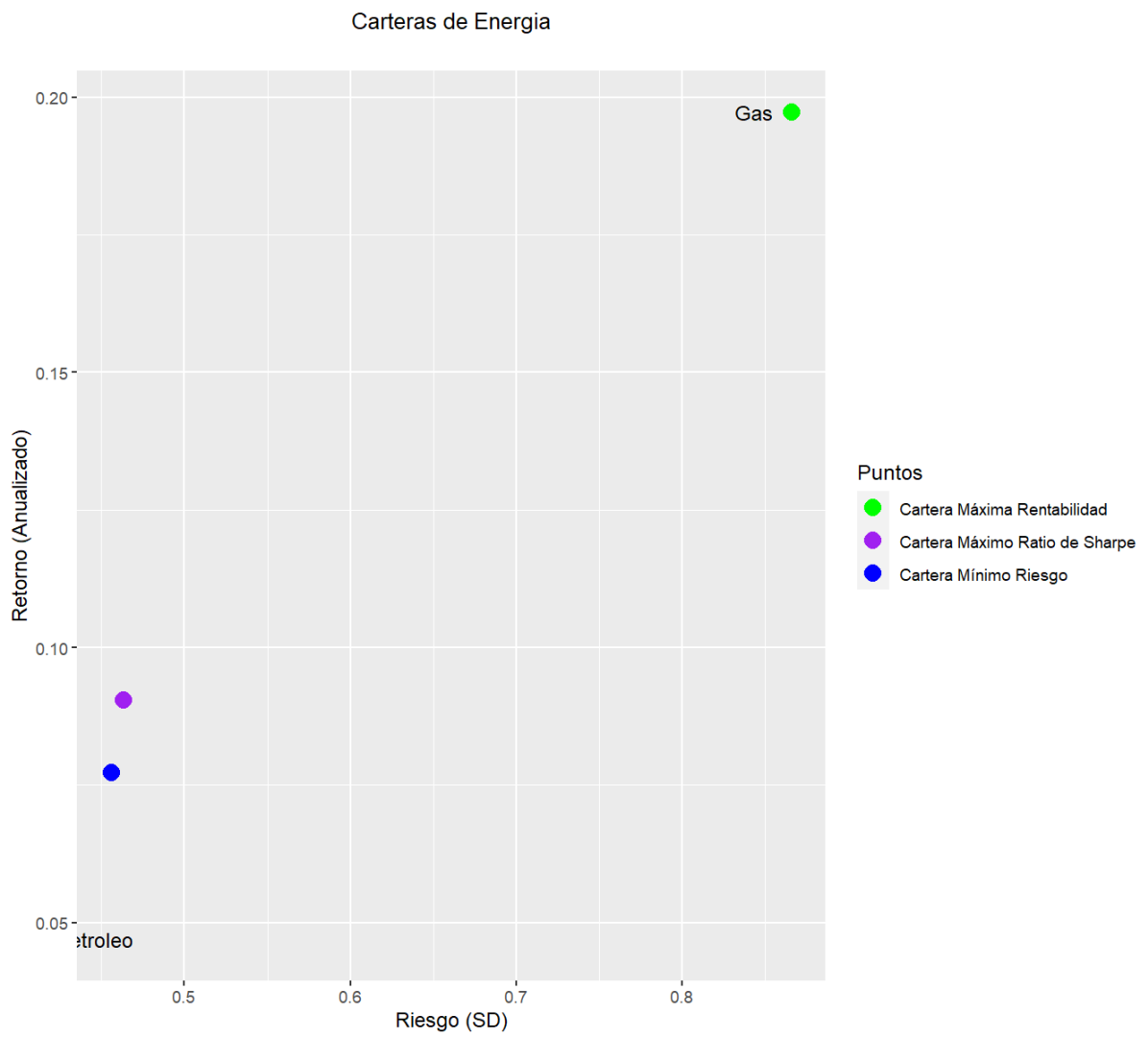
Materias ■ Aluminio ■ Cobre ■ Oro ■ Plata

Figura 5.9: Composición cartera máximo ratio de Sharpe metales

### Datos de inversion en Metales

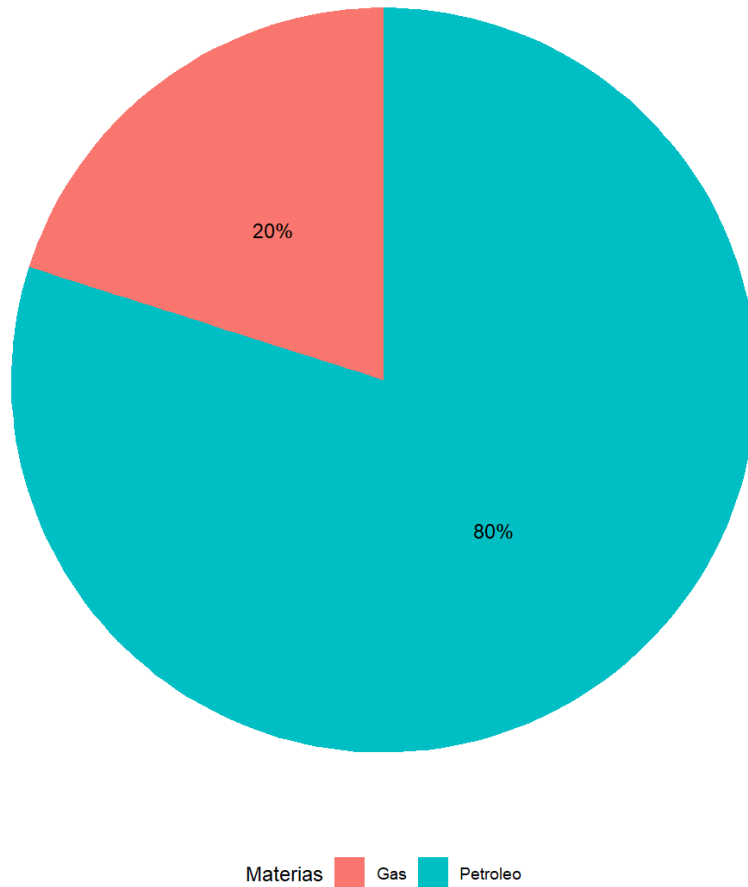


**Figura 5.10: Comparación de ganancias de inversión en metales**



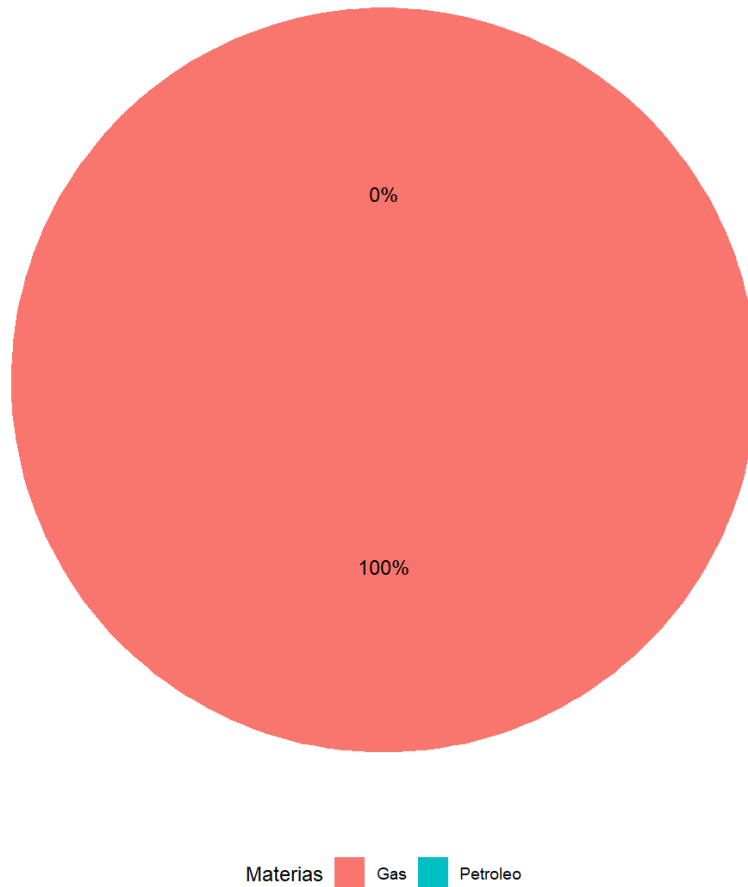
**Figura 5.11: Carteras para energía**

Composición cartera para Energía - Riesgo mínimo



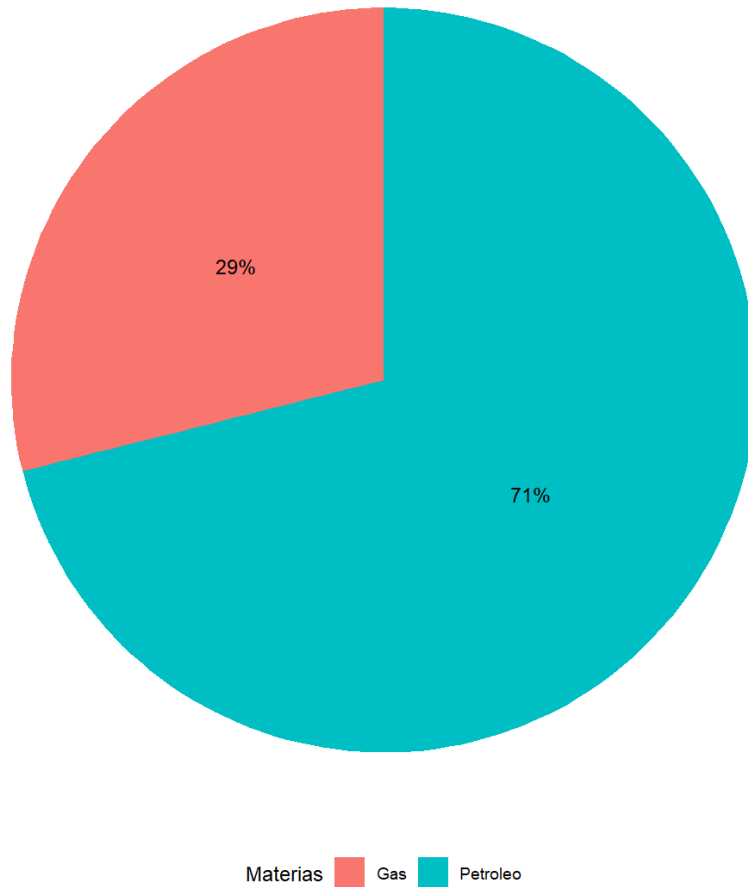
**Figura 5.12: Composición cartera mínimo riesgo energía**

Composición cartera para Energía - Máxima Rentabilidad



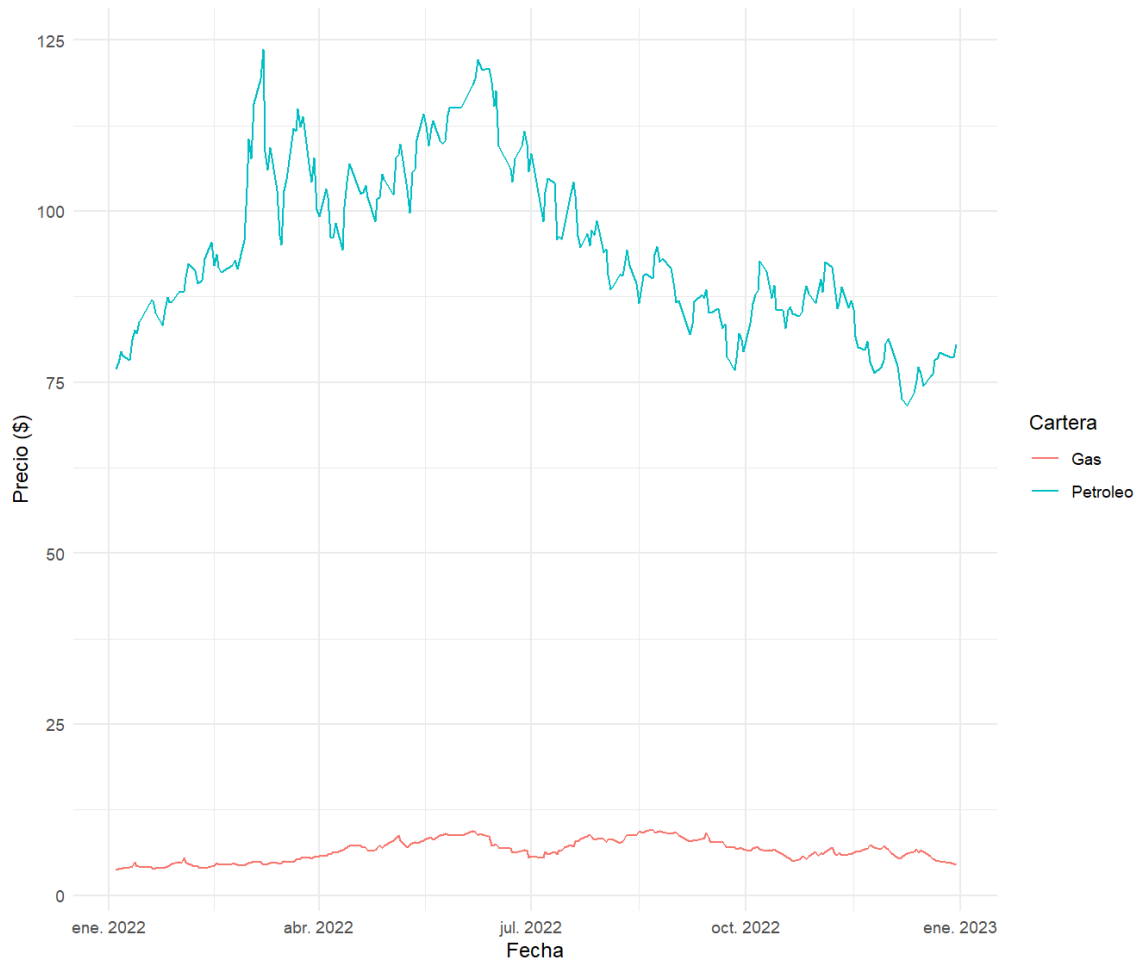
**Figura 5.13: Composición cartera máxima rentabilidad energía**

Composición cartera para Energía - Máximo Ratio de Sharpe



**Figura 5.14: Composición cartera máximo ratio de Sharpe energía**

Datos de inversion en Energia



**Figura 5.15: Comparación ganancias de inversión en energía**