

LA CARTERA IDEAL SEGÚN LA TEORÍA DE MARKOWITZ DE LOS ACTIVOS, ORO, PLATA, PLATINO Y PALADIO DE 2021 AL 2023

Daniel Esteban Ramírez Orjuela

Angie Vanessa Gómez Gómez

Julián Enrique Yazo Urrego

Trabajo Dirigido Por: María Constanza Torres Tamayo

Universidad Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito

Programa De Economía

Trabajo Para Obtención De Énfasis En Finanzas

Bogotá D.C.

2023

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| Resumen | 4 |
| Abstract | 4 |
| Pregunta..... | 5 |
| Hipótesis..... | 5 |
| Objetivos | 5 |
| Objetivo general | 5 |
| Objetivos específicos..... | 5 |
| Capítulo 1: Marco Teórico | 6 |
| Commodities..... | 6 |
| Contango | 6 |
| Derivados..... | 6 |
| Futuros | 7 |
| Activo Refugio..... | 7 |
| Ratio de Sharpe..... | 7 |
| Ratio de Treynor | 7 |
| Tracking error..... | 7 |
| Capítulo 2: Marco metodológico | 9 |
| Capítulo 3: Activos de la cartera | 12 |
| Oro | 12 |
| Paladio..... | 14 |
| Platino | 16 |
| Plata | 18 |
| Capítulo 4: Principios de la teoría de portafolio..... | 21 |
| Postulados de Markowitz..... | 21 |
| Capítulo 5: Resultados | 24 |
| Coeficiente de Correlación de Pearson..... | 24 |
| Cartera ideal del portafolio | 25 |
| Frontera eficiente de Markowitz | 25 |
| Resultado de Indicadores | 27 |
| El sharpe ratio | 27 |
| El ratio de Treynor..... | 28 |
| El Tracking error | 28 |

| | |
|---|----|
| Capítulo 6: Portafolio de inversión alterno | 29 |
| Coeficiente de correlación de Pearson 2.0..... | 29 |
| Cartera ideal del portafolio 2.0..... | 29 |
| Frontera eficiente de Markowitz 2.0 | 30 |
| Conclusiones..... | 32 |
| Bibliografía..... | 33 |

Resumen

El presente documento busca documentar la ejecución de una selección de portafolio evaluando la rentabilidad a determinado nivel de riesgo asumido, bajo la implementación de la metodología de frontera eficiente de Harry Markowitz. Esta demostración práctica se realizará evaluando la rentabilidad de dos portafolios donde cada uno de estos reflejará un nivel dado de riesgo. Este análisis se realizará partiendo de las mismas condiciones para los dos portafolios, evaluando periodos de tiempo de liquidación y niveles de inversión idénticos.

Palabras Clave: Selección de Portafolios, Mercado de Capitales, Frontera Eficiente, Markowitz, Ratio de Sharpe, Ratio de Treynor, Tracking error

Abstract

The present document aims to document the execution of portfolio selection by evaluating the profitability at a given level of assumed risk, under the implementation of Harry Markowitz's efficient frontier methodology. This practical demonstration will be carried out by evaluating the profitability of two portfolios, each reflecting a given level of risk. This analysis will be conducted starting from the same conditions for both portfolios, evaluating identical liquidation periods and investment levels.

Keywords: Portfolio Selection, Capital Markets, Efficient Frontier, Markowitz, Sharpe Ratio, Treynor Ratio, Tracking Error

Pregunta

¿Cuál sería la cartera ideal según la teoría de Markowitz de los activos, oro, plata, platino y paladio de 2021 al 2023?

Hipótesis

Se puede considerar que el oro tiende a ser el activo con mayor peso en esta cartera, ya sea porque muchos inversionistas incluyen oro en sus carteras como forma de diversificación. Puede ayudar a reducir el riesgo general de la cartera porque no siempre se mueve en la misma dirección que las acciones o los bonos. O también por su función como activo de refugio seguro, ya que, en tiempos de agitación geopolítica, crisis económicas o volatilidad del mercado, los inversores pueden acudir en masa al oro como un lugar seguro para depositar su dinero.

Objetivos

Objetivo general

Analizar y realizar mediante la teoría de portafolio y frontera eficiente de Markowitz una cartera óptima para inversionistas, con los commodities oro, plata, platino y paladio en el periodo 2021-2023 identificando oportunidades y gestionando riesgos de manera efectiva en el mercado de metales preciosos. Así mismo, desarrollar un análisis técnico de los commodities en este mismo periodo.

Objetivos específicos

1. Analizar los diferentes activos que componen la cartera, investigando su historia, volúmenes de contrato, bolsas en las que cotizan, etc.
2. Especificar la teoría de cartera moderna que existe y cuáles son sus características y postulados (Markowitz).
3. Utilizar herramientas como la matriz de covarianza para analizar la correlación entre los activos y construir una cartera eficiente.
4. Calcular qué tipo de cartera sería la ideal para los commodities Oro, paladio, platino y plata, y como estaría compuesta para diversificar su riesgo.
5. Identificar y cuantificar la máxima pérdida posible para cada commodities en la cartera.
6. Considera factores como la correlación entre los metales y cómo pueden actuar como cobertura unos contra otros.
7. Calcular otros indicadores de portafolio (Ratio de Sharpe, Ratio de Treynor y Tracking error) para medir el desempeño y el rendimiento de la cartera.

Capítulo 1: Marco Teórico

La teoría moderna de carteras, introducida por Harry Markowitz en su artículo seminal de 1952, revolucionó la forma en que los inversores comprenden y gestionan el riesgo en sus carteras de activos financieros. La premisa central de la teoría de Markowitz es que los inversores pueden maximizar los rendimientos esperados para un nivel dado de riesgo o minimizar el riesgo para un nivel dado de rendimiento, o bien, encontrar un equilibrio óptimo entre ambos. (Romero Moreno, 2010)

La finalidad de este marco teórico consiste en examinar de qué manera la teoría de Markowitz puede ser aplicada para asistir a los inversores en la formulación de una cartera óptima compuesta por activos como oro, plata, platino y paladio, durante el periodo comprendido entre 2021 y 2023. En este período, los precios de los metales preciosos fluctuaron por varios factores, incluyendo cambios en las políticas monetarias, la inflación, la demanda industrial y las dinámicas geopolíticas. La aplicación de la teoría de Markowitz es de particular interés por la naturaleza volátil de estos mercados

Como consecuencia, se abordarán detalladamente los conceptos clave asociados con cada uno de los activos, con el objetivo de proporcionar una mayor claridad en el desarrollo de este trabajo y facilitar su aplicación práctica en la selección de activos y la asignación de recursos dentro de una cartera.

Commodities

Como se mencionó anteriormente según Gamarra, los Commodities son materias primas negociadas mediante contratos futuros, cuyo valor está sujeto a las fuerzas de la oferta y la demanda, desvinculándose del valor presente de los flujos de caja futuros. Más específicamente se hace especial atención en la categoría de metales preciosos donde su uso no es tan solo de uso industrial sino de inversión.

Contango

Un mercado está en posición de contango cuando el precio a un plazo futuro cotiza con prima respecto al spot¹ ($P_{fwd} > (P_{Hoy})$). Es decir, la convenience yield² es menor al tipo de interés ($r > CY$) (Gamarra, Gestión del riesgo de commodities, 2014). Es decir, cuando el precio a futuro de un activo es superior al precio actual, y el rendimiento por invertir el dinero supera los beneficios de tener el activo físico en posesión.

Derivados

Un producto derivado es un activo financiero cuyo precio depende de otro activo subyacente. Es decir, el precio de un derivado ha de calcularse a partir de otro activo. (Gamarra, Los mercados derivados, 2014). Suponiendo que un inversor está interesado en especular sobre el precio futuro del oro. En este caso, podría entrar en un contrato de futuros

¹ Los precios spot se refieren al valor actual de un activo financiero, mercancía o bien en el mercado en un momento específico, sin tener en cuenta acuerdos futuros. (Gamarra, Los mercados derivados, 2014)

² Es un concepto relacionado con bienes físicos, como commodities. Representa los beneficios o "rendimientos de conveniencia" que un tenedor de un activo físico recibe al tener el activo en su posesión

sobre oro, que es un tipo de producto derivado. El inversor acuerda comprar o vender oro a un precio preestablecido en una fecha futura. El precio del contrato de futuros sobre oro dependerá directamente del precio actual del oro en el mercado spot en el momento del acuerdo y de otros factores como tasas de interés y costos de almacenamiento.

Futuros

Un futuro es un contrato a plazo negociado en un mercado organizado, donde las dos partes contratantes se obligan a comprar/vender un activo determinado (subyacente), en una fecha futura (Gamarra, Futuros y forwards, 2014). Este tipo de instrumento financiero proporciona a los participantes del mercado una herramienta para gestionar el riesgo, especular sobre los movimientos de precios y facilitar la cobertura contra posibles fluctuaciones en el valor del activo subyacente.

Activo Refugio

Los valores refugio son activos financieros que ofrecen seguridad en tiempos de incertidumbre o crisis al mantener su valor o incluso aumentarlo, por lo que son buscados por inversores y traders para minimizar su exposición a pérdidas. De allí que sean una parte importante de cualquier estrategia de inversión equilibrada y una opción atractiva para inversores que buscan protección de su patrimonio. (Torres, 2020)

Ratio de Sharpe

El ratio de Sharpe se utiliza para mostrar el riesgo que se asume por realizar una determinada inversión. Su valor nos indica si la rentabilidad de una inversión viene acompañada de un exceso de riesgo. Una inversión es buena, según el ratio de Sharpe, cuando no va acompañada de un alto nivel de riesgo adicional. Entre dos inversiones, la que tenga mayor ratio de Sharpe es mejor, pues implica un menor riesgo adicional. (Pav, 23 Septiembre 2021)

Si el ratio de Sharpe es negativo, significa que el activo libre de riesgo es más rentable que el activo con riesgo. El ratio de Sharpe, junto con otros indicadores como el ratio de Treynor se utilizan con frecuencia para puntuar el comportamiento de los activos de una cartera o para comparar la eficacia de distintos gestores de fondos de inversión u otros activos.

Ratio de Treynor

El ratio de Treynor mide el diferencial de rentabilidad obtenido sobre el activo libre de riesgo por unidad de riesgo sistemático o no diversificable del fondo, representado por su Beta. La métrica de Treynor ayuda a los gerentes a relacionar los rendimientos ganados en exceso sobre la tasa de rendimiento libre de riesgo con el riesgo adicional que se ha asumido, Cuanto mayor sea la relación Treynor de una cartera, mejor será su rendimiento. (Pav, 23 Septiembre 2021)

Tracking error

El tracking error es un elemento de análisis utilizado para juzgar la regularidad de los rendimientos de un fondo, se trata de medir la estabilidad (o volatilidad) de la parte del rendimiento que no se explica por las variaciones del mercado, ni por el saber hacer de los

gestores. Cuanto más estable es este factor, más estable es el rendimiento atribuido a los gestores y viceversa.

Si un activo tiene Tracking Error por encima de un 5% se estima que es un activo de gestión activa por parte del gestor o el inversor de referencia. Si es entre un 0 y un 5% son inversiones de gestión pasiva y buscan replicar lo que haga el índice de referencia. (Ulas, 2012)

Utilizando como referencia trabajos anteriores, como el estudio sobre "Contratos de futuros de agua y cálculo de su riesgo financiero entre 2019 y 2021", donde se busca determinar y explicar el riesgo financiero asociado a la inversión en este tipo de activo, dada la significativa cantidad de capital involucrado y la naturaleza a largo plazo de estos contratos (Alarcón, Galeano, & Villamil, 2021), se establece un punto de partida relevante para comprender los desafíos financieros en inversiones a largo plazo en activos específicos, como los metales preciosos.

Además, el trabajo titulado "El paladio frente a otros activos financieros subyacentes, y cuál es su cartera ideal" destaca la importancia de estudiar el paladio en relación con activos con los cuales pueda tener correlación, como el platino, rodio, litio, níquel, y el futuro del dólar (González, 2019). Este enfoque contribuye a la comprensión de cómo los metales preciosos interactúan con otros activos financieros, proporcionando perspectivas valiosas para la construcción de un portafolio equilibrado y diversificado.

En el contexto de la inversión en metales preciosos, también se considerará el trabajo sobre el "Ranking del riesgo de mercado de los bancos que cotizan en la bolsa de valores de Colombia (BVC) utilizando metodologías VAR para el periodo de enero de 2020 a marzo de 2022", que destaca que, al destinar capital para inversión con el objetivo de obtener rendimientos, una opción común es la compra de acciones (Caicedo & Catañeda, 2022). Este enfoque permite abordar la inversión en metales preciosos desde una perspectiva de gestión de riesgos y evaluar cómo estos activos podrían contribuir a un portafolio equilibrado.

En conjunto, estos trabajos ofrecen contribuciones valiosas para la gestión de riesgos y la construcción de un portafolio de metales preciosos, destacando la importancia de considerar factores financieros, correlaciones entre activos y estrategias de inversión a largo plazo.

Capítulo 2: Marco metodológico

Teniendo esto en cuenta se selecciona el periodo que se va a estudiar (2021-2023), ya con esto definido, se obtienen las cotizaciones diarias de los cuatro commodities en el tiempo a estudiar, más específicamente el cierre ajustado.

Para comenzar, se debe calcular el HPR por sus siglas en ingles Holding Period Return, es decir las rentabilidades de los commodities que pueden ser calculados de forma discreta (tomado primeras diferencias) o continua (tomando logaritmos):

$$(i) HPR = \ln\left(\frac{p_{a_i}}{p_{a_{i-1}}}\right)$$

En donde:

- p_a = es el precio de la acción
- i = el periodo

Continuando se debe calcular la media o rendimiento esperado, desviación estándar, varianza y covarianza

Media o rendimiento esperado r_x

$$(ii) r_x = \left(\frac{\sum_i^N HPR}{n}\right)$$

En donde

- n = cantidad de datos
- r_i = rendimiento del activo i
- r_x = rendimiento promedio del activo

Desviación estándar (σ)

$$(iii) \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2}{n}}$$

En donde:

- n = cantidad de datos
- r_i = rendimiento del activo i
- r_x = rendimiento promedio del activo

Varianza (σ^2)

$$(iv) \sigma_{x_t}^2 = \frac{\sum (r_{x_t} - \bar{r}_x)^2}{n}$$

En donde:

- n = cantidad de datos
- r_{x_t} = rendimiento del activo x en el mes t
- \bar{r}_x = rendimiento promedio del activo x

Covarianza (σ_{12})

$$(v) cov(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (r_x - \bar{r}_x)(r_y - \bar{r}_y)}{n}$$

En donde:

- n = cantidad de datos
- r_x = rendimiento del activo x
- \bar{r}_x = rendimiento promedio del activo x
- r_y = rendimiento del activo y
- \bar{r}_y = rendimiento promedio del activo y

Después se obtendremos el coeficiente de correlación de Pearson para entender la correlación de los activos del portafolio

$$(vi) \rho_{xy} = \frac{cov(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

En donde

- $cov(x, y)$ = covarianza de los rendimientos
- σ_x = desviación estandar de los rendimientos del activo x
- σ_y = desviación estandar de los rendimientos del activo y

Después de calcular las ecuaciones, se determina el conjunto de carteras eficientes, y teniendo en cuenta que los beneficios del modelo de Markowitz, uno de estos es la maximización de rentabilidad, ya que el modelo busca encontrar la combinación óptima de activos que maximiza la rentabilidad para un nivel de riesgo determinado. Esto significa que los inversores pueden obtener la máxima rentabilidad de su inversión sin tener que asumir más riesgo del que están dispuestos a tomar, otro beneficio es la minimización del riesgo, al diversificar la cartera en diferentes activos y tipos de inversión, el modelo reduce el riesgo y la volatilidad, mejorando así la seguridad del inversor.

Con ayuda de Excel y la herramienta de Solver se logra medir el punto óptimo para diversificar la inversión, minimizando el riesgo y construimos la frontera eficiente de Markowitz por medio de la herramienta de análisis de hipótesis.

Para llevar a cabo los indicadores del portafolio, vamos a utilizar las siguientes ecuaciones. Para el ratio de Sharpe donde se busca medir el desempeño de un portafolio y se define como el rendimiento promedio.

$$(vii) \quad SR_p = \frac{(\overline{R_p} - r_f)}{\sigma_p}$$

En donde:

- $\overline{R_p}$ = es el rendimiento promedio del portafolio p
- r_f = es la tasa libre de riesgo, del banco BVA.

Para interpretar este resultado,

- $SR_p > 1$ Es un buen valor, porque ofrece más rentabilidad por unidad de volatilidad.

El ratio de Treynor es una buena medida para buscar diversificar el portafolio para así mismo diversificar el riesgo.

$$(viii) \quad TR_p = \frac{E(\overline{R_p} - r_f)}{\beta_p}$$

En donde:

- $\overline{R_p}$ = es el rendimiento promedio del portafolio p
- r_f = es la tasa libre de riesgo
- β_p = es el beta del portafolio p

Para interpretar este resultado, se debe tener en cuenta, que entre más alto sea el resultado representa un rendimiento más alto por cada unidad de riesgo. Además, implica que el activo o la cartera de activos ha generado mejores rentabilidades de lo esperado, si tenemos en cuenta el nivel de riesgo asumido, para el calculo de este beta, se toma la rentabilidad del mercado en el periodo de estudio.

Con el tracking error es el desempeño del portafolio comparado con el desempeño del índice

$$(ix) TE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_p - R_m)^2}{N-1}}$$

En donde:

- R_p = es el rendimiento del portafolio
- R_m = es el rendimiento del mercado o benchmark
- N = la cantidad de periodos

Para interpretar este resultado, tenemos que

- $TE = 0$, indica que el portafolio es igual al mercado
- $2\% < TE < 5\%$, implica una gestión con mayor riesgo, pero controlado.
- $TE < 6\%$, indica que se han asumido mayores riesgos para lograr la rentabilidad del mercado.

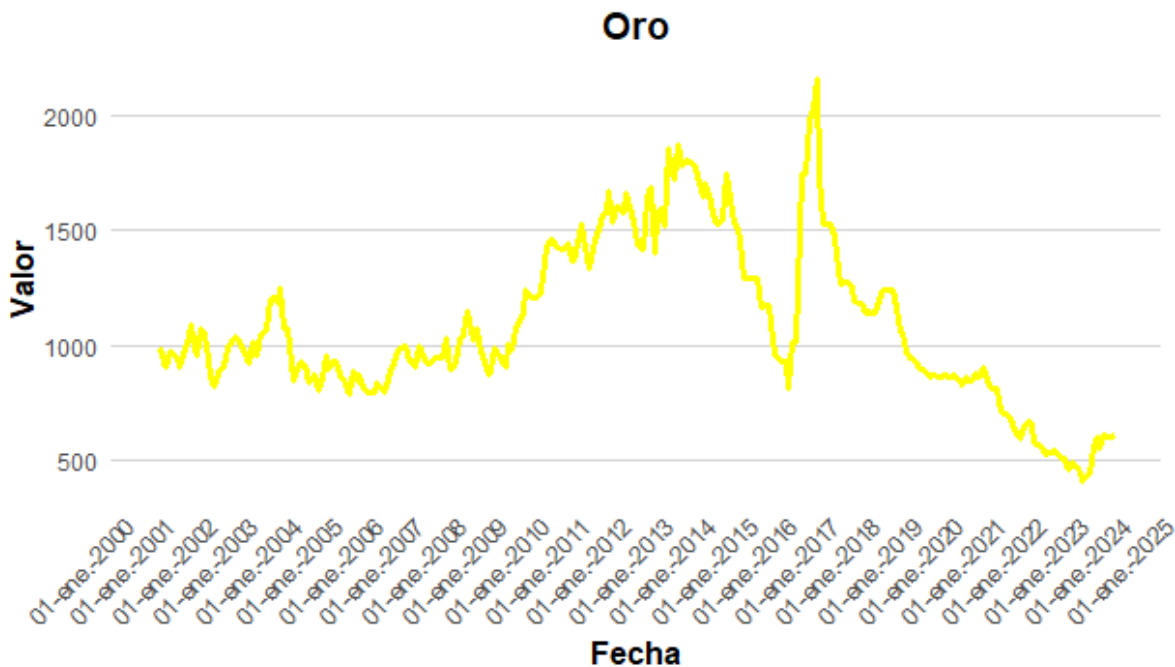
Capítulo 3: Activos de la cartera

Oro

La trayectoria del oro se remonta a milenios atrás, desde los primeros días de la Edad de Bronce hasta la acuñación de monedas en el Imperio Romano. A lo largo de la historia, el oro ha mantenido su posición como un bien de gran valor y prestigio en la sociedad. Sin embargo, en este estudio, nos concentraremos en su aplicación más contemporánea: el periodo en que el oro comenzó a respaldar su valor, dando origen al sistema conocido como el patrón oro.

El patrón oro es un sistema monetario en el que el valor de una moneda se equivale a una cantidad determinada de oro. Si el dueño de las monedas desea intercambiarlas por oro, el estado deberá asegurar que haya suficiente oro almacenado para intercambiar esa moneda por la cantidad designada del metal. El problema de este Sistema era que, aunque las monedas estaban respaldadas por una cantidad definida de oro esa cantidad podía variar en tiempos de incertidumbre. Es por ello por lo que después de la segunda guerra mundial y con la necesidad de un periodo de estabilidad en estados unidos abandonaron el sistema del Patrón oro y abrazaron el sistema Bretton Woods. En un lingote de oro equivaldría a \$35 y nunca podría variar, aportando estabilidad a la moneda. Este sistema fue utilizado intermitentemente durante el siglo XX hasta su total abolición. Estados Unidos dejó de utilizarlo en 1971 y la última moneda en abandonarlo en el 2000 (el Franco suizo) (Ghizon, 1971).

Ilustración 1: Comportamiento histórico del precio del oro como commodity.



Fuente: Elaboración propia con datos de Investing al 2023

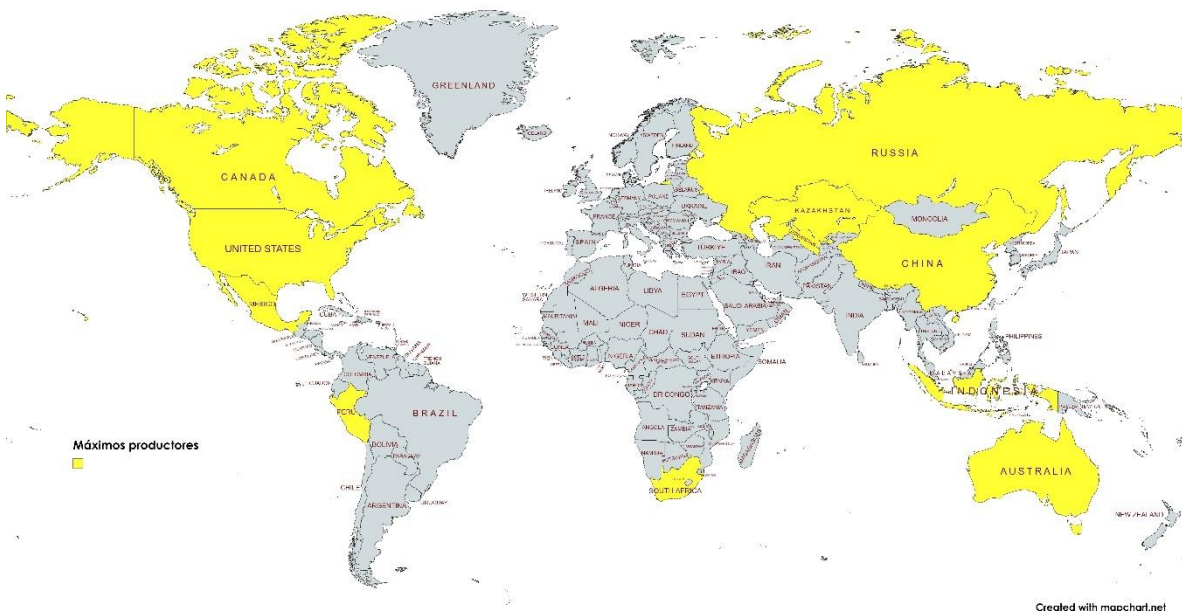
Se negocia principalmente en el mercado OTC de Londres, en el mercado de futuros de Estados Unidos (COMEX) y en la Bolsa de Oro de Shanghai (SGE). El contrato a futuro estándar es de 100 onzas troy. El oro es una inversión atractiva durante períodos de incertidumbre política y económica. La mitad del consumo de oro en el mundo es en joyería, el 40% en inversiones y el 10% en industria.

Tabla 1: volumen de contrato

| | | | |
|------------------|--------------------|--------------------|------------|
| Último cierre | 2.051,4 | Día de vencimiento | 25.04.2024 |
| Apertura | 2.052,5 | Último rollover | 27.01.2024 |
| Rango día | 2.046,4 - 2.060,85 | Tamaño del tick | 0,1 |
| 52 semanas | 1.808,8 - 2.152,3 | Valor del tick | 10 |
| Var. en un año | 9,92% | Símbolo base | ZG |
| Mes | abr-24 | Valor del punto | 1= \$ 100 |
| Tamaño contrato | 100 onzas troy | Meses | GJMQVZ |
| Clase de entrega | Físico | | |

Elaboración propia con datos de Investing

Mapa 2: Mayores productores de oro, por tonelada métrica.



Elaboración propia con datos de Statista

Del mapa 1, se evidencia que los mayores productores de oro representan grandes naciones, donde China es el mayor productor de oro en toneladas métricas (370) en el año 2023, seguido por Australia y Rusia (310), cerrando la lista de los cinco mayores productores con Canadá (200) y Estados Unidos (170). (Statista)

Paladio

El Paladio es un mineral de la familia del platino, considerado “raro” por sus propiedades químicas y su poca abundancia en nuestro planeta. Fue descubierto en 1803 y actualmente se lo utiliza para una gran cantidad de fabricaciones, como automóviles, computadoras, televisores, celulares e incluso la industria dental.

Todo esto, sin duda lo convierte en un imprescindible en la cadena de producción de muchos artículos y es por eso que el *paladio precioso* vuelve atractivo. Es importante resaltar que lo más interesante del uso del paladio se da en la industria automotriz. En esta, el paladio sirve como catalizador para evitar que los gases nocivos que liberan los autos lleguen con facilidad al ambiente y, de esta manera, se logra que contaminen menos.

(LIBERTEX 2020).

Ilustración 3: Comportamiento histórico del precio del paladio como commodity.



Elaboración propia con datos de Investing al 2023

Los futuros de paladio están disponibles para negociar en el mercado de platino y paladio de Londres y en la Bolsa de Mercancías de Nueva York. El contrato estándar tiene un peso de 100 onzas troy. utilizado principalmente en la producción de convertidores catalíticos para

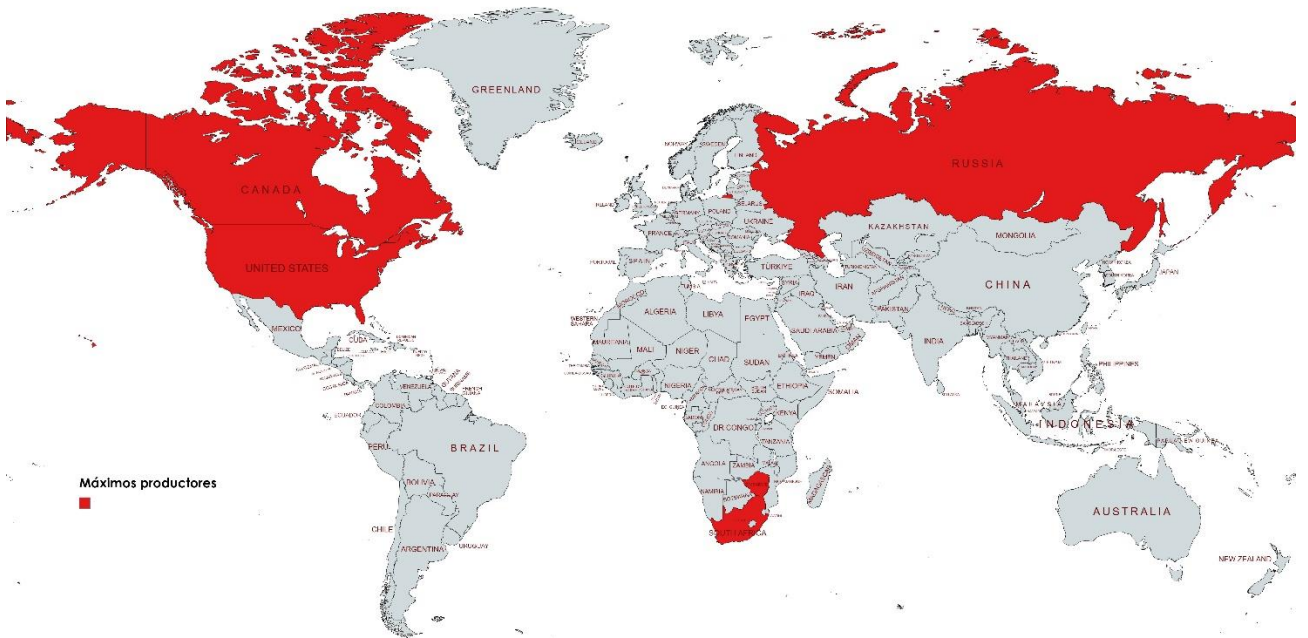
automóviles a gasolina, electrónica, odontología, medicina, purificación de hidrógeno, aplicaciones químicas, tratamiento de aguas subterráneas y joyería

Tabla 2: volumen de contrato

| | | | |
|------------------|------------------|--------------------|------------|
| Último cierre | 951,4 | Día de vencimiento | 25.03.2024 |
| Apertura | 952,5 | Último rollover | 25.11.2023 |
| Rango día | 897,53 - 956,78 | Tamaño del tick | 0,05 |
| 52 semanas | 897,53 - 1.674,5 | Valor del tick | 5 |
| Var. en un año | -39,53% | Símbolo base | PA |
| Mes | mar-24 | Valor del punto | 1= \$ 100 |
| Tamaño contrato | 100 onzas troy | Meses | HMUZ |
| Clase de entrega | Físico | | |

Elaboración propia con datos de Investing

Mapa 2: Mayores productores de Paladio, por tonelada métrica.



Created with mapchart.net

Elaboración propia con datos de Statista

Respecto al paladio, el máximo productor es Rusia, ya que presenta 88000 toneladas métricas, muy cerca de Sudáfrica con 80000, por otro lado, Canadá representa un bajo porcentaje respecto a los 2 primeros, con 15000 toneladas métricas. (Statista)

Platino

El platino es uno de los metales cotizados en la bolsa más caros en el mercado y ha ido ganando en popularidad en los últimos años gracias a su amplia variedad de usos.

El platino es un metal muy popular para el uso en catalizadores. Estos son productos que ayudan a los fabricantes de automóviles y a las industrias a controlar las emisiones dañinas al medio ambiente.

Como otros metales preciosos, el platino se comercia en los mercados financieros, ya sea directamente en el mercado spot (los activos se compran y venden por dinero para entregarse inmediatamente o en un tiempo corto) o a través de varios derivados financieros, principalmente contratos de futuros, opciones, contratos por diferencia y otros. (Técnicas trading)

Ilustración 4: comportamiento histórico del precio del platino como commodity.



Elaboración propia con datos de Investing al 2023

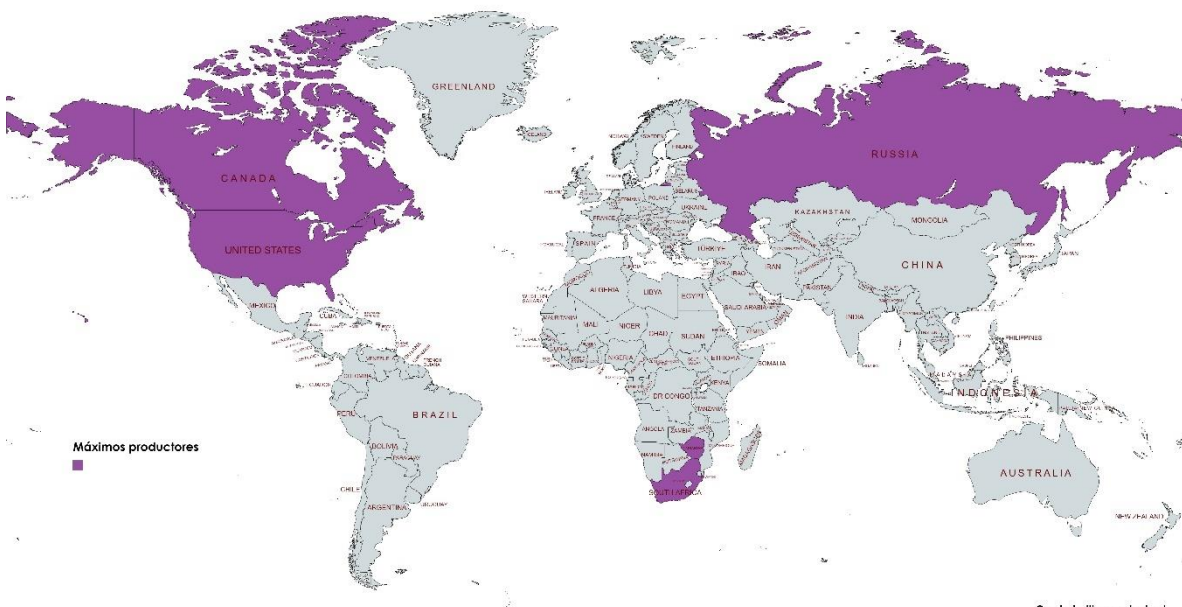
El platino se negocia principalmente en la Bolsa Mercantil de Nueva York, la Bolsa de Mercancías de Tokio y el Mercado del Lingote de Londres. Los contratos de futuros de platino se negocian en unidades de 50 onzas troy. El platino es uno de los metales más escasos del mundo y se utiliza principalmente en la producción de convertidores catalíticos para automóviles, en refinerías de petróleo y en la industria química y eléctrica.

Tabla 3: volumen del contrato

| | | | |
|------------------|-----------------|--------------------|------------|
| Último cierre | 911 | Día de vencimiento | 25.04.2024 |
| Apertura | 911,8 | Último rollover | 23.12.2023 |
| Rango día | 884,95 - 914,9 | Tamaño del tick | 0,1 |
| 52 semanas | 843,1 - 1.148,9 | Valor del tick | 5 |
| Var. en un año | -6,18% | Símbolo base | PL |
| Mes | abr-24 | Valor del punto | 1= \$ 50 |
| Tamaño contrato | 50 onzas troy | Meses | FJNV |
| Clase de entrega | Físico | | |

Elaboración propia con datos de Investing

Mapa 3: Mayores productores de platino, por tonelada métrica.



Created with mapchart.net

Elaboración propia con datos de Statista

Para los mayores productores de platino encontramos a Sudáfrica que está muy por encima que los otros países, con una producción de 140 toneladas métricas, dejando muy por debajo al segundo que es Rusia con 20 toneladas métricas. Por lo que estos 2 países fueron los mayores productores de platino en el año 2023 (Statista)

Plata

La plata ha tenido una rica historia como uno de los metales del mundo más importantes para el intercambio monetario y con fines de simplificación.

Aunque ningún país hoy en día utiliza la plata en una moneda respaldada por metales preciosos, la demanda del producto se ha acelerado gracias a la disminución de la confianza en las monedas fiduciarias y el precio relativamente barato en comparación con otros metales preciosos.

Por otra parte, a diferencia del oro, la plata tiene una variedad de usos industriales que se asegura de que la demanda del producto se mantendrá en alto mientras las monedas como el dólar se mantenga estable. (Técnicas trading)

Ilustración 5: Comportamiento histórico del precio de la plata como commodity.



Elaboración propia con datos de Investing al 2023

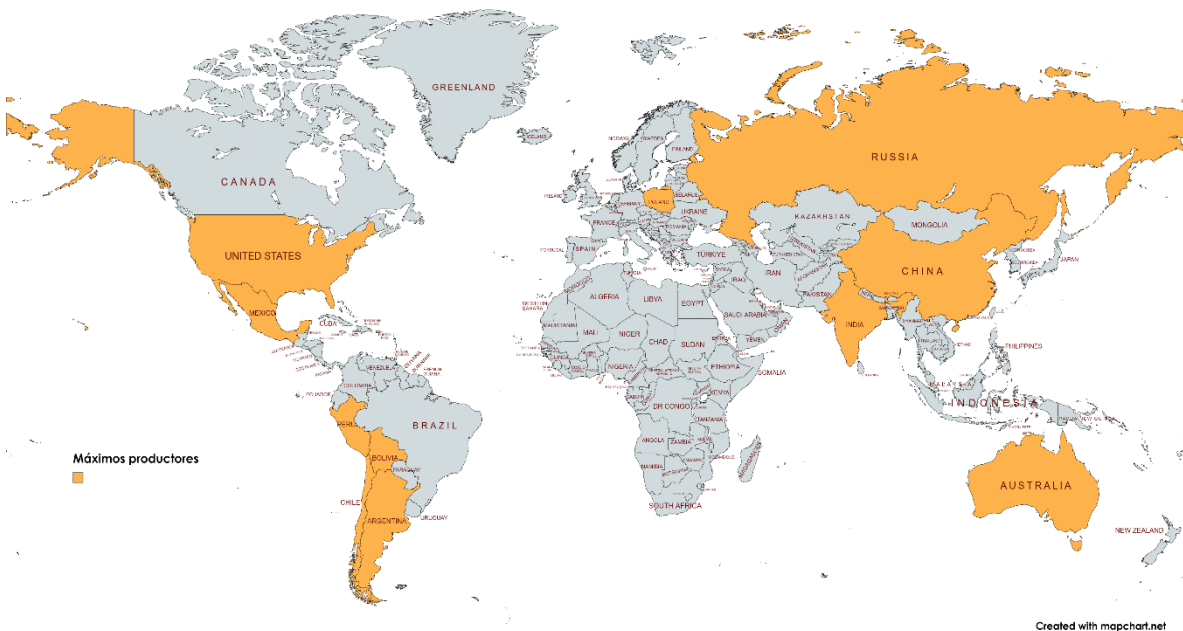
Principalmente se negocia en LME y COMEX. Las empresas mineras, los fabricantes de productos terminados y los usuarios de materiales industriales con contenido de plata utilizan contratos de opciones y futuros de plata para gestionar su riesgo de precio. Como metal precioso, la plata también desempeña un papel en las carteras de inversión

Tabla 4: Volumen de contrato

| | | | |
|------------------|------------------|--------------------|------------|
| Último cierre | 22,951 | Día de vencimiento | 25.03.2024 |
| Apertura | 22,975 | Último rollover | 02.12.2023 |
| Rango día | 22,84 - 23,56 | Tamaño del tick | 0,001 |
| 52 semanas | 19,84 - 26,435 | Valor del tick | 5 |
| Var. en un año | 8,15% | Símbolo base | ZI |
| Mes | mar-24 | Valor del punto | 1= \$ 5000 |
| Tamaño contrato | 5.000 onzas troy | Meses | FHKUNZ |
| Clase de entrega | Físico | | |

Elaboración propia con datos de Investing

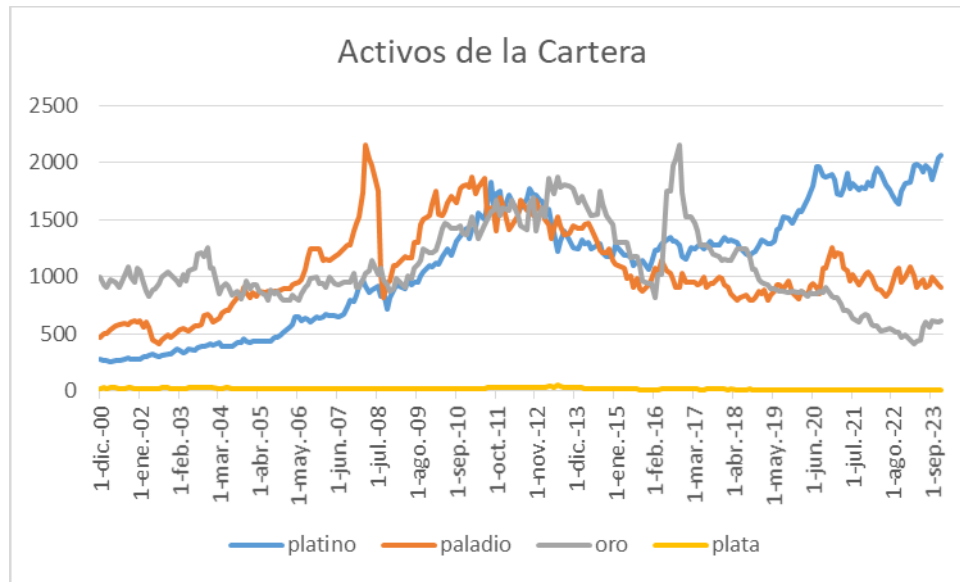
Mapa 6: Mayores productores de plata, por tonelada métrica.



Elaboración propia con datos de Statista

En el año 2023 el principal productor y exportador de plata ha sido México con 640 toneladas métricas. Seguido por China y Perú con (3400) y Chile con 1400. Resaltando la producción de México, ya que logro superar a China en el último tiempo (Statista)

Ilustración 7: comparación del comportamiento de los activos



Elaboración propia con datos de Investing al 2023

Es evidente que la plata es el activo que representa la tendencia constante, pero esto se debe a que su precio no pasa de los 50 USD, dando a entender que es el activo con menor precio de mercado de la cartera. Mientras que los demás activos han tenido un precio volátil a lo largo del tiempo.

Capítulo 4: Principios de la teoría de portafolio

Postulados de Markowitz

En el ámbito de la teoría de la selección de portafolios, Harry Markowitz ocupa una posición destacada. En 1952, publicó un artículo en la revista *Journal of Finance* titulado "Portfolio Selection", basado en su tesis doctoral, donde presentó un modelo de comportamiento racional para la selección de portafolios de activos financieros líquidos. Posteriormente, en 1959, publicó su libro "Portfolio Selection, Efficient Diversification of Investments", donde desarrolló con mayor detalle su teoría.

A pesar del éxito teórico del modelo de Markowitz, que ha generado numerosos desarrollos y ha sentado las bases de diversas teorías de equilibrio en el mercado financiero, su aplicación práctica entre gestores de portafolios y analistas de inversiones no ha sido tan amplia como se podría esperar. (Mendizabal, Zabalza, & Zubia, 2002). Los postulados de Harry Markowitz, especialmente sus contribuciones a la teoría moderna de carteras son de gran importancia en la construcción y gestión de carteras; su influencia en la investigación actual se presentará a continuación:

1. El rendimiento de una inversión debe ser tratado como un fenómeno estocástico.

Es decir, está sujeto a variaciones impredecibles. Aplicado a una cartera de metales preciosos como oro, plata, paladio y platino, implica que los rendimientos de cada metal no pueden preverse con certeza absoluta debido a la volatilidad del mercado. Para gestionar esta incertidumbre, los inversores suelen recurrir a medidas estadísticas como la media y la varianza para evaluar y gestionar los rendimientos esperados y la volatilidad de cada activo en la cartera, tomando en cuenta la variabilidad histórica de estos metales.

2. El inversionista típico actúa con aversión al riesgo.

Este postulado indica que los inversores generalmente prefieren evitar riesgos y buscan maximizar la utilidad esperada de su cartera. Aplicado a una cartera de metales preciosos, implica que los inversores tienen una predisposición a evitar activos altamente volátiles y buscan un equilibrio entre el rendimiento y la estabilidad. En este contexto, se exploraría cómo la aversión al riesgo influiría en la selección de ponderaciones para oro, plata, paladio y platino, buscando una combinación que refleje la tolerancia individual al riesgo y optimice la utilidad esperada de la cartera.

3. El riesgo y el rendimiento esperados de los activos de inversión tienen medidas estadísticas que corresponden a la media y la varianza de una distribución normal.

Este postulado establece que el riesgo y el rendimiento esperados de los activos pueden ser cuantificados utilizando medidas estadísticas como la media (rendimiento esperado) y la varianza (riesgo). Implica que la evaluación del rendimiento y la gestión del riesgo se pueden llevar a cabo mediante el análisis de estas medidas estadísticas para cada metal. Los inversores podrían considerar cómo la distribución histórica de rendimientos y la variabilidad de cada metal influirían en la construcción de una cartera que optimice la relación riesgo-rendimiento.

4. La selección de inversiones se refiere estrictamente para un periodo.

Este postulado sugiere que la selección de inversiones se realiza para un periodo específico. Aplicado a la cartera de metales preciosos en el periodo de 2020-2023, implica que las decisiones de asignación de activos deben adaptarse a las condiciones y eventos ocurridos durante ese periodo. Los inversores podrían tener en cuenta los cambios en la oferta y la demanda de cada metal, así como los eventos económicos y políticos que puedan haber afectado los precios. La selección de inversiones en este contexto debería estar en sintonía con las condiciones del mercado durante el periodo de estudio para optimizar los resultados de la cartera.

5. Las preferencias entre riesgo y rendimiento del inversionista pueden expresarse matemática o gráficamente en un espacio definido por la varianza o desviación estándar y la expectativa de rendimiento.

Sugiere que las preferencias del inversionista por el riesgo y el rendimiento pueden ser expresadas de manera matemática o gráfica en un espacio definido por la varianza (o desviación estándar) y la expectativa de rendimiento. Implicando que los inversores podrían visualizar y cuantificar sus preferencias en términos de riesgo y rendimiento para cada metal, permitiendo una toma de decisiones más informada. Este enfoque facilita la identificación de combinaciones óptimas de metales en la cartera que se alineen con las preferencias individuales del inversionista en cuanto al equilibrio entre riesgo y rendimiento.

6. Existen en el mercado de capitales n activos perfectamente divisibles y líquidos con los cuales es posible formar un portafolio (cualquier combinación de activos).

Los activos en el mercado que son tanto perfectamente divisibles como líquidos, permitiendo a los inversionistas construir portafolios mediante la combinación de diferentes metales preciosos. La distinción en el uso de cada metal ya sea como refugio seguro (oro), con aplicaciones industriales (plata, paladio, platino) o en la joyería (oro, plata, platino), proporciona una diversidad de opciones. Los inversores pueden adaptar sus estrategias de cartera según las características específicas de cada metal, teniendo en cuenta su demanda en distintos sectores y su comportamiento en diferentes condiciones económicas y de mercado durante el periodo de estudio (2021-2023).

7. Para cada uno de estos activos se puede calcular la esperanza matemática del rendimiento, su varianza (o desviación estándar) y las covarianzas.

Se pueden analizar de manera cuantitativa el rendimiento esperado, la volatilidad y las relaciones entre los metales. Al calcular estas métricas para oro, plata, paladio y platino, los inversores pueden obtener información valiosa para la construcción de una cartera eficiente que maximice el rendimiento esperado y minimice el riesgo durante el periodo de estudio (2021-2023).

8. Los activos son perfectamente divisibles, es decir, están disponibles en el mercado en fracciones.

Los activos pueden dividirse en unidades más pequeñas y están disponibles en el mercado en fracciones específicas, como la onza troy para metales preciosos y el quilate para gemas preciosas. En el contexto de los metales preciosos como oro, plata, paladio y platino, así como las gemas, esta divisibilidad permite a los inversores y coleccionistas adquirir porciones precisas de estos activos, ajustando sus posesiones según las necesidades y preferencias. Esta flexibilidad se aplica tanto a inversores interesados en la onza troy de metales preciosos como a aquellos que buscan fracciones específicas en quilates de gemas

9. Se ignoran todo tipo de costos de transacción, en particular, no se consideran impuestos ni comisiones.

Esto implica que, en este contexto idealizado, los inversores pueden comprar, vender o ajustar sus posiciones en estos activos sin incurrir en costos adicionales. Sin embargo, en la realidad, es crucial tener en cuenta los costos asociados, como comisiones de corretaje y obligaciones tributarias, al tomar decisiones financieras y ajustar las carteras durante el periodo de estudio (2021-2023).

10. El mercado en el que se intercambian los activos es de competencia perfecta³.

Establece que el mercado donde ocurren las transacciones de activos es de competencia perfecta, lo cual se traduce en total transparencia, información perfecta y acceso equitativo para todos los participantes. Sin embargo, en la realidad, los mercados pueden variar en cuanto a eficiencia y competencia.

³ Se entiende por mercado de competencia perfecta a aquel en el cual los agentes (consumidores y productores) poseen perfecta información de lo que sucede en el mercado; además dichos agentes pueden ser considerados como precios aceptantes, es decir, que ninguna decisión individual puede afectar el nivel de precios establecidos; adicionalmente existe perfecta movilidad de los factores productivos.

Capítulo 5: Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos, incluyendo la correlación entre los activos y la evaluación de indicadores clave como el Ratio de Sharpe, el Ratio de Treynor y el Tracking Error. Estos resultados ofrecen una perspectiva detallada sobre el desempeño de la cartera y su capacidad para enfrentar la volatilidad del mercado, proporcionando valiosas recomendaciones para los inversionistas que buscan diversificación y estabilidad en sus portafolios.

Coefficiente de Correlación de Pearson

| MATRIZ DE CORRELACION | | | | |
|-----------------------|-------------|------------|------------|---------|
| | ORO | PLATA | PLATINO | PALADIO |
| ORO | 1 | | | |
| PLATA | 0,39615738 | 1 | | |
| PLATINO | -0,01428937 | 0,80397241 | 1 | |
| PALADIO | -0,49194411 | 0,3606177 | 0,60067854 | 1 |

| MATRIZ DE CORRELACION | | | | |
|-----------------------|-------------|------------|------------|---------|
| | ORO | PLATA | PLATINO | PALADIO |
| ORO | 1 | | | |
| PLATA | 0,39615738 | 1 | | |
| PLATINO | -0,01428937 | 0,80397241 | 1 | |
| PALADIO | -0,49194411 | 0,3606177 | 0,60067854 | 1 |

Elaboración propia

La correlación entre el oro y la plata es de 0,396, indicando una relación positiva moderada, lo que sugiere que estos metales tienden a moverse en la misma dirección en cierta medida. Sin embargo, la correlación entre el oro y el platino es prácticamente nula (-0,014), lo que significa que no existe una relación significativa entre sus movimientos, beneficiando la diversificación de la cartera.

Por otro lado, la correlación entre el oro y el paladio es de -0,492, lo que muestra una relación negativa moderada. Esto sugiere que estos metales suelen moverse en direcciones opuestas, ofreciendo una cobertura natural contra la volatilidad del mercado. La plata y el platino tienen una fuerte correlación positiva de 0,804, indicando que se mueven juntos con bastante consistencia. Esto puede limitar la diversificación, pero puede ser útil en mercados alcistas.

La correlación entre la plata y el paladio es de 0,361, reflejando una relación positiva moderada y ofreciendo un grado de diversificación adicional. Finalmente, la correlación entre el platino y el paladio es de 0,601, mostrando una relación positiva significativa, aunque no tan fuerte como la de la plata y el platino. Estos resultados sugieren que, al construir una cartera de metales preciosos, la combinación de oro y paladio puede proporcionar beneficios

de diversificación significativos debido a su correlación negativa, mientras que la plata y el platino, al estar fuertemente correlacionados, pueden moverse juntos, ofreciendo menos diversificación, pero mayor predictibilidad en sus movimientos conjuntos.

Cartera ideal del portafolio

Para la construcción de esta cartera se tomaron en cuenta las cotizaciones diarias del oro, plata, paladio y platino del 1 de enero de 2021 al 29 de diciembre de 2023.

| | Activos | | | |
|------------|------------------------|----------|------------|-------------|
| | Rendimientos esperados | Riesgo | Varianza | Porcentajes |
| | μ | σ | σ^2 | % |
| ORO | 0,0072% | 0,8697% | 0,0076% | 100% |
| PLATA | -0,0151% | 1,7727% | 0,0314% | 0% |
| PLATINO | -0,0078% | 1,7843% | 0,0318% | 0% |
| PALADIO | -0,0928% | 2,5897% | 0,0671% | 0% |
| PORTAFOLIO | 0,0072% | 0,8697% | 0,0076% | 100% |

Elaboración propia

El oro destaca como el único componente significativo de la cartera, con un rendimiento esperado de 0,0072% y un riesgo de 0,8697%, lo que corresponde a una varianza de 0,0076%. Este metal precioso ha sido asignado el 100% del peso de la cartera, debido a su capacidad para ofrecer un rendimiento positivo con un nivel de riesgo relativamente bajo en comparación con los otros metales analizados.

Por el contrario, la plata, el platino y el paladio presentan rendimientos esperados negativos de -0,0151%, -0,0078% y -0,0928%, respectivamente. Además, estos metales muestran niveles de riesgo significativamente más altos, con la plata y el platino teniendo riesgos de 1,7727% y 1,7843% y varianzas de 0,0314% y 0,0318%, respectivamente. El paladio, por su parte, tiene el mayor riesgo de todos los metales analizados, con un 2,5897% y una varianza de 0,0671%.

Frontera eficiente de Markowitz

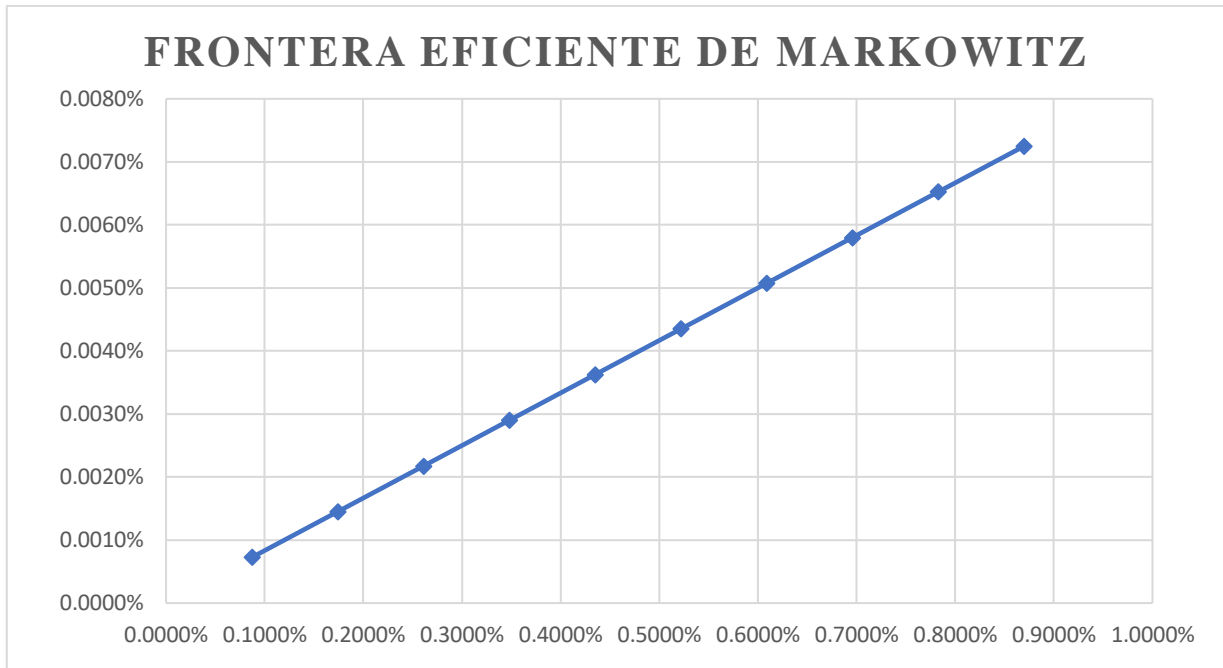
Para graficar la frontera eficiente de Markowitz del portafolio de inversión de metales preciosos en el periodo 2021-2023 se construyen diferentes combinaciones de portafolios, calculando el rendimiento y el riesgo de cada uno. Usando la función Solver de Excel, se optimizan estas combinaciones para encontrar las que ofrecen el mejor rendimiento para un nivel dado de riesgo, trazando así la frontera eficiente. Esta frontera representa las combinaciones óptimas de activos que proporcionan la máxima rentabilidad posible para cada nivel de riesgo asumido.

| | σ | μ |
|------|----------|---------|
| | 0,8697% | 0,0072% |
| 0% | 0 | 0 |
| 10% | 0,0870% | 0,0007% |
| 20% | 0,1739% | 0,0014% |
| 30% | 0,2609% | 0,0022% |
| 40% | 0,3479% | 0,0029% |
| 50% | 0,4349% | 0,0036% |
| 60% | 0,5218% | 0,0043% |
| 70% | 0,6088% | 0,0051% |
| 80% | 0,6958% | 0,0058% |
| 90% | 0,7828% | 0,0065% |
| 100% | 0,8697% | 0,0072% |

| | σ | μ |
|------|----------|---------|
| | 0,8697% | 0,0072% |
| 0% | 0 | 0 |
| 10% | 0,0870% | 0,0007% |
| 20% | 0,1739% | 0,0014% |
| 30% | 0,2609% | 0,0022% |
| 40% | 0,3479% | 0,0029% |
| 50% | 0,4349% | 0,0036% |
| 60% | 0,5218% | 0,0043% |
| 70% | 0,6088% | 0,0051% |
| 80% | 0,6958% | 0,0058% |
| 90% | 0,7828% | 0,0065% |
| 100% | 0,8697% | 0,0072% |

Elaboración propia

Ilustración 8: Frontera Eficiente de Markowitz



Elaboración propia

Resultado de Indicadores

El sharpe ratio

El Sharpe Ratio es una medida de rendimiento ajustada al riesgo que evalúa cómo un portafolio ha utilizado su volatilidad para generar rendimientos superiores al activo libre de riesgo ($R(f)$). Aquí está la interpretación de los resultados para el portafolio inicial compuesto por oro, plata, platino y paladio:

- Oro: Con un retorno esperado del 134.181%, una volatilidad de 0.0087 y un Sharpe Ratio de 136.94, el oro muestra un rendimiento ajustado al riesgo excepcionalmente alto. Esto indica que el oro ha generado rendimientos significativamente superiores al activo libre de riesgo en relación con su volatilidad.
- Plata: Aunque tiene un retorno esperado del 121.018%, su volatilidad es mayor (0.0177) y su Sharpe Ratio es de 59.75, lo que sugiere un rendimiento ajustado al riesgo inferior al oro pero aún significativo en comparación con el activo libre de riesgo.
- Platino: Con un retorno esperado del 138.063%, una volatilidad similar a la plata (0.0178) y un Sharpe Ratio de 68.92, el platino muestra un rendimiento ajustado al riesgo bastante favorable, aunque ligeramente inferior al oro.
- Paladio: Con el retorno esperado más alto del 158.466%, una volatilidad mayor (0.0259) y un Sharpe Ratio de 55.38, el paladio muestra un rendimiento ajustado al riesgo positivo pero menor en comparación con los otros metales preciosos en el portafolio.

En conjunto, el portafolio tiene un retorno del 134.181%, una volatilidad de 0.0087 y un Sharpe Ratio de 136.94, indicando que ha generado rendimientos excepcionalmente altos en relación con su riesgo, lo que sugiere una gestión eficiente del riesgo y una rentabilidad superior al activo libre de riesgo.

El ratio de Treynor

El Ratio de Treynor es una medida de rendimiento ajustada al riesgo que evalúa cómo un portafolio ha aprovechado su riesgo sistemático (medido por el Beta) para generar rendimientos. Aquí está la interpretación de los resultados para el portafolio inicial compuesto por oro, plata, platino y paladio:

- Oro: Tiene un Beta de 1 y un Ratio de Treynor de 1.19. Esto indica que el oro ha generado un rendimiento ajustado al riesgo ligeramente por encima de su riesgo sistemático, lo que sugiere una gestión eficiente de su riesgo en comparación con su rendimiento esperado.
- Plata: Con un Beta de 1.549 y un Ratio de Treynor de 0.683, la plata muestra un rendimiento ajustado al riesgo inferior a su riesgo sistemático. Esto indica que la plata puede estar generando un rendimiento menor al esperado dada su exposición al riesgo de mercado.
- Platino: Con un Beta de 1.078 y un Ratio de Treynor de 1.14, el platino muestra un rendimiento ajustado al riesgo bastante cercano a su riesgo sistemático. Esto sugiere una gestión equilibrada del riesgo y el rendimiento en comparación con el mercado.
- Paladio: Con un Beta de 1.133 y un Ratio de Treynor de 1.26, el paladio muestra un rendimiento ajustado al riesgo superior a su riesgo sistemático. Esto indica que el paladio ha aprovechado eficientemente su riesgo en el mercado para generar un rendimiento superior al esperado.

En conjunto, el portafolio tiene un Beta total de 0.0685 y un Ratio de Treynor de 2.99. Esto sugiere que el portafolio ha generado un rendimiento ajustado al riesgo significativamente superior a su riesgo sistemático, indicando una gestión eficiente del riesgo y una rentabilidad favorable en comparación con el mercado de referencia (R(f)).

El Tracking error

Un Tracking Error de 0.001190 representa una desviación mínima entre el rendimiento de un portafolio de inversión y su índice de referencia, El portafolio de inversión ha seguido muy de cerca el rendimiento del mercado S&P500, El gestor del portafolio ha logrado una gestión pasiva muy eficiente, minimizando los costos de transacción y las decisiones de inversión activas que podrían haber desviado el rendimiento del portafolio del mercado.

Es importante resaltar que no existe un mercado donde se coticen los cuatro activos, por lo que se tomara el Standar and Poors 500 como mercado de referencia ya que en este mercado se encuentran las 500 empresas con mayor capitalización bursátil, liquidez y rendimiento financiero, por lo que es importante considerarlo como punto de referencia.

Capítulo 6: Portafolio de inversión alterno

A continuación, se analiza un portafolio alternativo compuesto por el oro, el maíz como commodity agrícola, el petróleo y el gas como commodities energéticos. El objetivo principal es demostrar la importancia del oro como activo clave dentro de la cartera, incluso cuando se combina con otros commodities de naturaleza diferente. A través de un análisis de los rendimientos, riesgos y correlaciones de estos activos en el mismo periodo, se busca evidenciar cómo la inclusión del oro puede influir significativamente en la rentabilidad y estabilidad del portafolio, destacando su papel como refugio seguro en un panorama financiero dinámico y cambiante.

Coefficiente de correlación de Pearson 2.0

| MATRIZ DE CORRELACION | | | | |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| | ORO | GAS NATURAL | MAIZ | PETROLEO BRENT |
| ORO | 1 | | | |
| GAS NATURAL | -0,046965656 | 1 | | |
| MAIZ | 0,149486146 | -0,029466465 | 1 | |
| PETROLEO BRENT | 0,03081057 | 0,043895493 | -0,001421299 | 1 |

Elaboración propia

La matriz de correlación revela que, en el portafolio alternativo con oro, gas natural, maíz y petróleo Brent, el oro muestra una correlación negativa muy baja con el gas natural y el petróleo Brent, lo que indica una independencia o poca relación en sus movimientos de precios. Sin embargo, presenta una correlación positiva moderada con el maíz, sugiriendo una relación más estrecha en términos de movimientos de precios. Por otro lado, el gas natural no muestra una correlación significativa con ninguno de los otros activos en el portafolio, mientras que el maíz presenta una correlación negativa muy baja con el gas natural y ninguna correlación notable con el petróleo Brent. Estas relaciones de correlación destacan la diversificación que puede lograrse al combinar estos activos en un portafolio, donde el oro muestra su importancia como activo independiente dentro de la cartera.

Cartera ideal del portafolio 2.0

Para la construcción de esta cartera se utilizaron las cotizaciones diarias del 1 de enero de 2021 para el 29 de febrero de 2023 del oro, gas natural, petróleo Brent y Maíz.

| Activos | | | | |
|----------------|------------------------|----------|------------|-------------|
| | Rendimientos esperados | Riesgo | Varianza | Porcentajes |
| | μ | σ | σ^2 | % |
| ORO | 0,0072% | 0,8697% | 0,0076% | 77,00% |
| GAS NATURAL | -0,0117% | 36,8119% | 13,5512% | 0,15% |
| MAIZ | 0,0378% | 1,4691% | 0,0216% | 22% |
| PETROLEO BRENT | 0,0397% | 8,2692% | 0,6838% | 1% |
| PORTAFOLIO | 0,0142% | 0,7899% | 0,0062% | 100% |

Elaboración propia

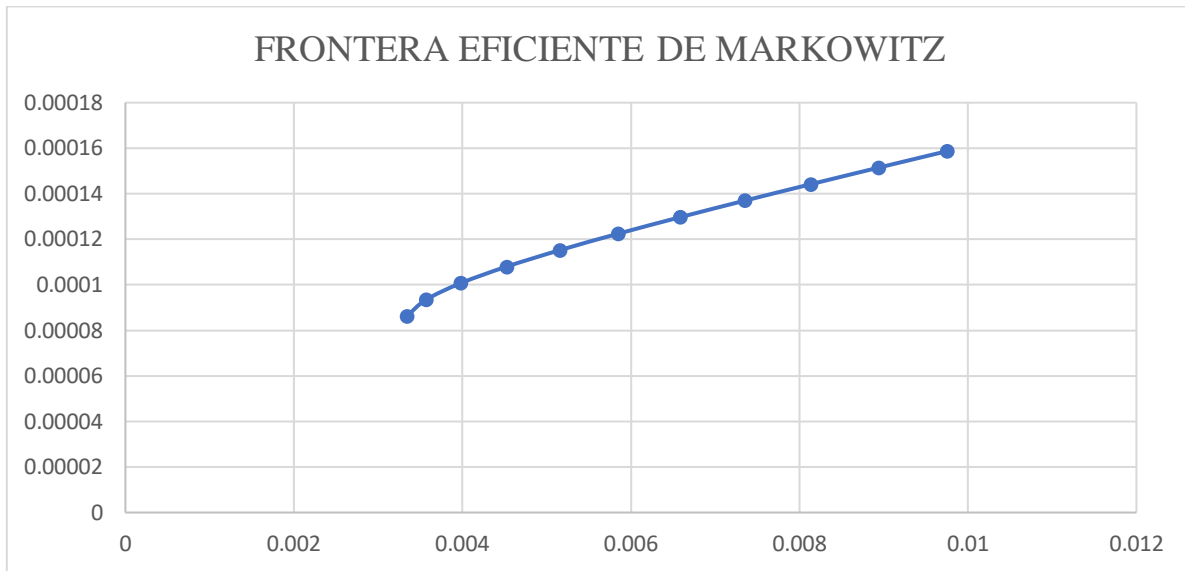
En el análisis de los activos en el portafolio, se observa que el oro presenta el rendimiento esperado más alto, con un riesgo y varianza relativamente bajos en comparación con los demás activos. Esto se refleja en su asignación de porcentaje en el portafolio, donde representa el 77% del mismo. El gas natural, aunque tiene un rendimiento esperado negativo, muestra el riesgo más alto entre los activos, lo que resulta en una asignación mínima en el portafolio (0.15%). El maíz, con un rendimiento esperado positivo y un riesgo moderado, constituye el 22% del portafolio, seguido por el petróleo Brent, que representa solo el 1% debido a su mayor riesgo en comparación con su rendimiento esperado. En conjunto, el portafolio muestra un rendimiento esperado y un riesgo equilibrados, con una distribución de activos diseñada para optimizar la rentabilidad ajustada al riesgo.

Frontera eficiente de Markowitz 2.0

| | σ | μ |
|------|-------------|-------------|
| | 0,7899% | 0,0142% |
| 0% | 0,003339788 | 8,62237E-05 |
| 10% | 0,3570% | 0,0093% |
| 20% | 0,3980% | 0,0101% |
| 30% | 0,4523% | 0,0108% |
| 40% | 0,5156% | 0,0115% |
| 50% | 0,5850% | 0,0122% |
| 60% | 0,6586% | 0,0130% |
| 70% | 0,7351% | 0,0137% |
| 80% | 0,8138% | 0,0144% |
| 90% | 0,8939% | 0,0151% |
| 100% | 0,9753% | 0,0159% |

Elaboración propia

Ilustración 9: Frontera eficiente de Markowitz 2.0



Elaboración propia

Conclusiones

- La cartera ideal de los activos oro, plata, platino y paladio de 2021 a 2023 estaría compuesta en un 100% por el oro. Esto se basa en los resultados obtenidos que muestran que el oro es el activo con el rendimiento esperado más alto y un riesgo relativamente bajo en comparación con los otros activos.
- Los precios históricos del oro y sus rendimientos pueden deberse a factores como los conflictos geopolíticos, la inflación creciente y las deudas gubernamentales en aumento. Asimismo, las tensiones comerciales internacionales, las sanciones geopolíticas y las expectativas de aumentos en los precios de energéticos como el gas y el petróleo han contribuido a fortalecer la posición del oro como un activo seguro y atractivo para los inversionistas.
- La fuerte correlación positiva entre la plata y el platino (0,804) limita la diversificación, pero puede ser ventajosa en mercados alcistas. Finalmente, las correlaciones moderadas entre la plata y el paladio (0,361) y entre el platino y el paladio (0,601) sugieren que, aunque estos metales se muevan en la misma dirección, ofrecen cierto grado de diversificación adicional.
- Con un rendimiento esperado del 0,0072% y una desviación estándar (riesgo) del 0,8697%, el oro presenta la menor volatilidad comparado con los otros activos considerados: plata, platino y paladio. La varianza del oro es de 0,0076%, significativamente menor que las de la plata (0,0314%), platino (0,0318%) y paladio (0,0671%), que exhiben mayores riesgos y varianzas asociadas con rendimientos negativos.
- El ratio Sharpe, con un valor superior a 1, indica una alta rentabilidad por unidad de volatilidad, lo que demuestra un desempeño óptimo del portafolio. El ratio de Treynor sugiere que la diversificación del portafolio es adecuada, pero podría mejorarse incorporando activos diferentes que generen mayores rendimientos. El portafolio ha mostrado una baja volatilidad, con un Tracking Error de 0.001190, lo que significa que los rendimientos han sido consistentes y relativamente cercanos a los del mercado.
- A pesar de la inclusión de otros commodities, el oro proporciona la mejor combinación de riesgo y rendimiento, con una rentabilidad esperada de 0.0072% y una baja volatilidad de 0.8697%. Los otros activos, aunque diversifican el portafolio, presentan mayores riesgos y menores rendimientos esperados, como es el caso del gas natural con una alta volatilidad de 36.8119% y un rendimiento esperado negativo de -0.0117%. Esto confirma que, incluso en un portafolio diversificado con diferentes commodities, el oro sigue siendo fundamental para mantener un equilibrio óptimo entre riesgo y rendimiento.

Bibliografía

- Alarcón, J., Galeano, J., & Villamil, A. (2021). *Contratos de futuro de agua y cálculo de su riesgo financiero entre 2019 y 2021*. Bogota D.C: Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito.
- Caicedo, S., & Catañeda, A. (2022). *Ranking del riesgo de mercado de los bancos que cotizan en la bolsa de valores de Colombia (BVC) utilizando metodologías VaR para el periodo de enero de 2020 a marzo de 2022*. Bogota D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Gamarra, E. (2014). *Futuros y forwards*. ISEAD S.L.
- Gamarra, E. (2014). *Gestión del riesgo de commodities*. ISEAD S.L.
- Gamarra, E. (2014). *Los mercados derivados*. ISEAD S.L.
- Ghizon, K. (1971). *Nixon Ends Convertibility of U.S. Dollars to Gold and Announces Wage/Price*. Obtenido de Federal Reserve Bank of Atlanta: <https://www.federalreservehistory.org/essays/gold-convertibility?ends>
- González, N. (2019). *El paladio frente a otros activos financieros subyacentes, y cual es su cartera ideal*. Bogota D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Mendizabal, A., Zabalza, L., & Zubia, M. (2002). *El modelo de Markowitz en la gestión de carteras*. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea.
- Pav, S. E. (23 Septiembre 2021). *The Sharpe Ratio*. Chapman and Hall/CRC.
- Romero Moreno, C. S. (2010). *La teoría moderna de portafolio. Un ensayo sobre sus formulaciones originales y sus repercusiones contemporáneas*. ODEON.
- Torres, F. (2020). *¿Qué son los valores refugio y cómo invertir en ellos?* Obtenido de IG: <https://www.ig.com/es/estrategias-de-trading/-que-son-los-valores-refugio-y-como-invertir-en-ellos--230811#:~:text=Los%20valores%20refugio%20son%20activos,riesgo%20en%20los%20mercados%20financieros>.
- Ulas, D. (2012). *Der Tracking-Error*. AV Akademikerverlag.