

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN FINAL

Valuación de empresas del sector minero en Argentina.

Autor/es:

Mariñelarena Nicolás - LU:1129073

Molinillo Valentín - LU:1137935

Carrera:

Licenciatura en Finanzas

Tutor/a:

Rubio Fulquet Fernando Esteban

Año: 2026

Índice

Dedicatoria y Agradecimientos.....	2
Resumen / Abstract.....	3
Introducción.....	4
Planteamiento y justificación del problema.....	4
Preguntas de investigación.....	6
Objetivo de la investigación.....	6
Hipótesis.....	7
Marco teórico.....	7
1. Estado del arte.....	7
2. Valuación de empresas.....	8
2.1. Análisis de acciones.....	8
2.2. Valor y Valor Intrínseco.....	8
3. Costo de capital de la firma.....	9
3.1. Costo del capital propio (ke).....	9
3.2. Costo de la deuda (kd).....	9
3.3. Costo ponderado del capital (WACC).....	10
3.4. Modelos CAPM adaptados a mercados emergentes.....	10
4. Modelos de valuación de empresas.....	12
4.1. Modelo de descuento de flujos (DCF).....	12
4.2. Flujo de caja libre de la empresa (FCFF).....	13
5. Precios de commodities.....	15
5.1. Volatilidad.....	15
5.2. Correlación.....	15
5.3. Modelización estocástica de precios futuros.....	16
5.4. Curva de futuros de commodities.....	18
Metodología.....	19
1. Diseño general del modelo de valuación.....	19
2. Proyección de ventas.....	20
3. Enfoque de la investigación.....	20
4. Herramienta desarrollada: el Simulador de Valuación Minera.....	21
4.1. Librerías utilizadas.....	21
4.2. Inputs del usuario.....	22
5. Modelo de valuación: DCF / FCFF.....	24
5.1. Depreciación, Depleción y Amortización (DD&A).....	24
5.2. Capital de trabajo neto operativo (CTNO).....	24
6. Costo de capital (WACC) con tasa de descuento variable por año.....	25

7. Simulación de Monte Carlo.....	25
8. Fuentes de datos.....	26
9. Variables macroeconómicas contextuales.....	27
10. Supuestos del modelo.....	27
11. Limitaciones de la metodología.....	28
Análisis de resultados.....	29
Ingresos (revenue).....	30
Inversión en capital (CAPEX).....	31
Costo de capital (WACC), estructura de capital y financiamiento.....	32
Parámetros de los procesos estocásticos de proyección de precios.....	34
Series de tiempo, base de cálculo y retornos.....	34
Procesos para metales preciosos: GBM.....	35
Procesos para metales industriales: Ornstein-Uhlenbeck.....	35
Síntesis e implicancias para el simulador de valuación.....	37
Bibliografía.....	38
Anexos.....	40

Dedicatoria y Agradecimientos

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a nuestras familias, por su apoyo constante, paciencia y acompañamiento durante todo este proceso académico. A quienes estuvieron presentes en cada etapa, brindándonos motivación, contención y confianza para seguir adelante incluso en los momentos de mayor exigencia. También dedicamos este logro a todas aquellas personas que, de una u otra manera, formaron parte de nuestro recorrido universitario y nos impulsaron a concluir esta etapa tan importante de nuestra formación profesional.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo de investigación.

En primer lugar, agradecemos especialmente a nuestro tutor, Fernando Esteban Rubio Fulquet, por su acompañamiento, orientación y predisposición durante el desarrollo del trabajo. Sus aportes y sugerencias fueron fundamentales para ordenar nuestras ideas, mejorar el enfoque de la investigación y avanzar con mayor claridad.

Asimismo, agradecemos a la Lic. Karina Díaz, por su guía a lo largo del trabajo de investigación final, por brindarnos las herramientas necesarias para estructurar el trabajo y acompañarnos en el proceso de construcción académica.

También queremos agradecer a nuestras familias y seres queridos, quienes nos apoyaron durante este camino, comprendiendo los tiempos, exigencias y desafíos que implica la realización de una tesis.

Finalmente, queremos expresar nuestro agradecimiento mutuo como equipo. A lo largo de este proceso atravesamos diferencias propias del trabajo conjunto, pero también aprendimos a construir desde los puntos de encuentro, integrando distintas miradas y fortaleciendo la colaboración. Este trabajo refleja el compromiso, la responsabilidad y la sinergia desarrollada durante su realización.

Resumen

Este trabajo, titulado “Valuación de empresas del sector minero en Argentina”, tiene como finalidad analizar la valuación de empresas mineras con proyectos en explotación dentro del contexto argentino, considerando las particularidades propias de la industria y su impacto en la determinación del valor de una compañía minera. Para ello, se utiliza la metodología de flujos de fondos descontados, incorporando variables relevantes del sector, tales como precios futuros de los metales, producción esperada, reservas minerales, costos operativos, inversiones de capital, carga impositiva y tasa de descuento. Asimismo, el trabajo propone la creación de un simulador de valuación, orientado a integrar datos y estimaciones para realizar una valuación financiera consistente, adaptable a las características de cada compañía analizada. De esta manera, se busca aportar valor al proceso de valuación del sector minero argentino, especialmente en el marco de operaciones de fusiones y adquisiciones.

Palabras claves: Valuación, Flujo de caja descontado, Precios futuros de los metales, Simulador de valuación.

Abstract

This work, entitled “Valuation of Companies in the Mining Sector in Argentina”, aims to analyze the valuation of mining companies with projects in operation within the Argentine context, considering the specific characteristics of the industry and their impact on determining the value of a mining company. To this end, the discounted cash flow methodology is applied, incorporating relevant sector variables such as future metal prices, expected production, mineral reserves, operating costs, capital expenditures, tax burden, and discount rate. Additionally, the work proposes the creation of a valuation simulator designed to integrate data and estimates in order to perform a consistent financial valuation, adaptable to the characteristics of each

company analyzed. In this way, the study seeks to add value to the valuation process of the Argentine mining sector, especially in the context of mergers and acquisitions.

Keywords: Valuation, Discounted Cash Flow, Future Metal Prices, Valuation Simulator.

Introducción

La valuación de empresas es un desafío constante dentro del ámbito financiero, en especial por la dificultad inherente en la predicción de los flujos de caja futuros y su impacto en la determinación del valor intrínseco. En el caso del sector minero, esta complejidad se profundiza debido a que el valor de una compañía depende de factores específicos como la disponibilidad de reservas, la vida útil de los proyectos, el nivel de inversión necesario para desarrollar y sostener la operación, la exposición a precios internacionales de los metales y los riesgos propios del contexto regulatorio y macroeconómico. En este marco, la estimación de precios futuros de los metales representa uno de los aspectos más relevantes y complejos de la valuación minera, dado que impacta directamente en la proyección de ingresos y por consecuencia en los flujos de fondos futuros y en el valor estimado de una compañía minera.

En Argentina, este análisis adquiere especial relevancia debido al potencial geológico del país, la presencia de recursos asociados al oro, la plata, el cobre y el litio, y el creciente interés del sector minero como fuente de inversión. A su vez, el contexto local exige considerar factores propios de una economía emergente, tales como la volatilidad macroeconómica, las condiciones regulatorias, la carga impositiva y las limitaciones del mercado de capitales.

Además, se analizará la relación entre la evolución esperada de los precios de los metales y las decisiones de inversión en capital, dado que los proyectos mineros requieren desembolsos significativos para su desarrollo, mantenimiento y expansión. Asimismo, se evaluará cómo la volatilidad de dichos precios puede incidir en el costo de capital, especialmente a través del riesgo percibido por acreedores e inversores.

Finalmente, a partir del análisis realizado, se buscará construir un simulador de valuación que permita integrar datos y estimaciones para calcular el valor financiero de empresas mineras en explotación. De esta manera, el trabajo pretende aportar una herramienta aplicable al análisis del sector minero argentino, especialmente en el marco de operaciones de fusiones y adquisiciones.

Planteamiento y justificación del problema

Argentina cuenta con una amplia diversidad geológica y recursos minerales distribuidos en distintas regiones, lo que la posiciona como un actor relevante en el mapa minero global, con potencial para atraer inversiones, generar divisas y contribuir a la transición

energética. En este contexto, durante el período enero-diciembre de 2025, las exportaciones mineras alcanzaron USD 6.037 millones, lo que representó el valor más alto de la historia del sector en Argentina y un incremento interanual del 29,2% respecto de 2024. Este crecimiento estuvo impulsado por precios internacionales favorables, la entrada en producción de nuevos proyectos, la consolidación de operaciones existentes y los incentivos asociados al *Régimen de Incentivo para Grandes Inversiones* —RIGI— (Ministerio de Economía, 2026). Este dinamismo exportador se inscribe en una tendencia de largo plazo: entre 2003 y 2024 el sector acumuló un superávit cambiario de USD 51.744 millones sin registrar un solo mes con balance negativo, consolidando a la minería como una fuente estructural de divisas para la economía argentina (Secretaría de Minería, 2025).

En este escenario, la valuación de empresas mineras cobra especial relevancia para Argentina, dado que el país posee recursos estratégicos en litio, cobre, oro y plata, minerales vinculados con sectores de alto crecimiento global. En línea con el enfoque de *Commodities in motion* de (PwC, 2025), estos metales no deben analizarse únicamente como productos primarios, sino como insumos esenciales de distintas industrias: el litio para baterías y movilidad eléctrica; el cobre para infraestructura eléctrica, redes de transmisión, construcción y equipamiento industrial; la plata para electrónica, aplicaciones industriales y energía fotovoltaica; y el oro para reserva de valor, joyería, tecnología y ciertos usos industriales. Todas estas industrias presentan un cambio significativo respecto a la matriz productiva a la que la industria argentina exporta, siendo esta bien representada por la energía y los alimentos. Esta relación entre recursos minerales e industrias demandantes refuerza la importancia potencial de Argentina dentro de las cadenas globales de abastecimiento, en un contexto en el que la transición energética, la electrificación, la urbanización y el desarrollo tecnológico impulsan la demanda de minerales críticos. La Agencia Internacional de Energía (IEA, 2025) proyecta que esta demanda crecerá de forma sostenida en las próximas décadas, reforzando el rol estratégico de Argentina como potencial proveedor de minerales críticos a escala global.

En este contexto, los procesos de fusiones y adquisiciones pueden funcionar como mecanismos relevantes para acelerar el desarrollo de la industria, al permitir el ingreso de capital, la transferencia de conocimiento técnico, la consolidación de activos y la integración de proyectos argentinos en cadenas globales de valor. Sin embargo, la valuación de este tipo de compañías presenta desafíos específicos, derivados de la vida útil finita de las minas, la elevada intensidad de capital, los largos plazos de desarrollo, la incertidumbre geológica y la fuerte dependencia de precios internacionales. En consecuencia, la estimación del valor económico de una empresa minera requiere supuestos particularmente sensibles, especialmente en relación con la proyección de precios, costos, inversiones y vida útil de los activos.

El problema central radica en la estimación de los precios futuros de los minerales, variable determinante en la proyección de flujos de fondos y, por ende, en el valor de la empresa. Dado que estos bienes son commodities cuyos precios se forman en

mercados globales, surge la necesidad de determinar qué metodología resulta más adecuada para su proyección: ya sea a partir de la curva de futuros del mercado, cuando existe suficiente liquidez y disponibilidad de información, o mediante modelos estocásticos, como los desarrollados por Schwartz (1997), que permiten capturar dinámicas de incertidumbre, volatilidad y, en ciertos casos, reversión a la media.

Esta problemática adquiere mayor relevancia en economías emergentes como la argentina, donde las limitaciones del mercado de capitales restringen la aplicación directa de metodologías tradicionales de valuación. En particular, la menor profundidad y liquidez del mercado accionario, la escasez de empresas comparables locales, la limitada disponibilidad de información financiera homogénea, la volatilidad macroeconómica, el riesgo país, las restricciones cambiarias y la inestabilidad regulatoria dificultan la estimación de variables clave como el costo del capital, la prima de riesgo, la estructura óptima de financiamiento y los múltiplos de mercado. En este sentido, Pereiro (2002) señala la necesidad de adaptar las herramientas tradicionales de valuación a las particularidades institucionales, financieras y macroeconómicas propias de los mercados emergentes.

Por ello, analizar metodologías alternativas para la estimación de precios de minerales y evaluar su impacto en la valuación de empresas mineras en Argentina constituye un aporte relevante tanto a nivel académico como profesional. La investigación permite abordar una problemática concreta del sector, vinculando la teoría financiera con las condiciones específicas de un mercado emergente y de una industria estratégica para el desarrollo económico del país.

Preguntas de investigación

¿Cómo valorar empresas mineras en países emergentes como Argentina?

¿Cómo impactan los precios de los metales en la valuación y en las decisiones financieras de las empresas mineras?

¿Cuáles son las formas de estimar precios futuros de los metales y cómo impacta en la estimación de flujos futuros?

¿Cómo impacta la volatilidad de los precios de los metales en el costo de capital (WACC) de las empresas mineras?

Objetivo de la investigación

- Analizar los principales factores que inciden en la valuación de empresas mineras en Argentina, a fin de construir un modelo de simulación aplicable a operaciones de fusiones y adquisiciones.

- Analizar la estimación de precios futuros de los metales seleccionados (oro, plata, cobre y litio) mediante curvas de futuros y procesos estocásticos, y su impacto en la proyección de flujos de fondos de las empresas mineras.
- Analizar la relación entre los precios de los metales y las decisiones de inversión de las empresas mineras.
- Evaluar cómo la volatilidad de los precios de los metales incide en el costo de capital (WACC) de las empresas mineras.

Hipótesis

Los precios esperados de los metales mencionados y su volatilidad influyen de manera significativa en la valuación de las empresas mineras, debido a su impacto sobre la proyección de flujos futuros, las decisiones de inversión en CAPEX y el costo de capital.

Marco teórico

1. Estado del arte

La literatura sobre valuación minera reconoce que el valor de una compañía del sector depende de manera significativa del comportamiento del precio del mineral producido, dado que este incide directamente sobre ingresos, márgenes, reservas económicamente explotables y decisiones de inversión. En esta línea, Damodaran (2009) sostiene que las empresas de commodities presentan una dependencia particularmente alta respecto de variables macroeconómicas, especialmente el precio del commodity subyacente. Asimismo, estudios empíricos como Nangolo y Musingwini (2011) encuentran correlaciones relevantes entre precios de minerales —oro, plata y cobre— y precios bursátiles de compañías mineras. Para América Latina, (Santillán Salgado et al., 2018) analiza cómo las fluctuaciones de precios internacionales de metales afectan la estructura de capital de empresas mineras y metalúrgicas listadas en Argentina, Brasil, México y Perú. Para el caso argentino, los antecedentes identificados tienden a abordar la minería desde una perspectiva sectorial, productiva e institucional, con énfasis en el potencial geológico, las cadenas de valor, el desarrollo de proveedores, el financiamiento de proyectos y los desafíos regulatorios y socioambientales. En una línea similar, Paredes Gómez et al. (2016) analizan los determinantes del apalancamiento en empresas mineras latinoamericanas, encontrando que los precios de los commodities y la rentabilidad operativa inciden significativamente en las decisiones de financiamiento del sector. (Marín et al., 2021) analiza la cadena de valor de la minería metálica argentina y las barreras de inserción de proveedores locales; Murguía (2021) estudia el potencial de la minería metalífera argentina considerando encadenamientos productivos y estándares socioambientales; mientras que Fundar (2023) destaca la necesidad de transformar el potencial minero —principalmente en litio y cobre— en inversiones efectivas mediante mejoras

regulatorias, desarrollo de capacidades locales y gobernanza sectorial. Por lo tanto, la presente investigación busca complementar dichos enfoques mediante una metodología financiera que incorpore flujos de caja descontados, sensibilidad a precios de commodities, riesgo país, vida útil de reservas y, eventualmente, opciones reales.

2. Valuación de empresas

2.1. Análisis de acciones

El análisis de acciones puede entenderse como una disciplina orientada a estudiar la valuación de una empresa, o de sus acciones individuales, de manera racional, sistemática y fundamentada. Desde esta perspectiva, un principio central es que, en horizontes temporales relativamente extensos, el precio de una acción tiende a reflejar la situación económica y financiera del negocio, así como las condiciones del entorno en el que opera. No obstante, en el corto plazo, el precio puede verse afectado por factores ajenos al valor intrínseco, tales como expectativas de mercado, comportamientos emocionales de los inversores, niveles de liquidez y dinámicas propias de negociación. En consecuencia, la valuación de una empresa puede interpretarse como una interacción entre fuerzas de corto plazo, que pueden generar desviaciones transitorias en los precios, y fundamentos de largo plazo, vinculados con la capacidad del negocio para generar valor (Hooke, 2010).

2.2. Valor y Valor Intrínseco

La valuación constituye una herramienta central dentro del análisis de acciones, ya que permite distinguir entre el precio observado en el mercado y el valor económico subyacente de una empresa. Según señalara Damodaran (2011), el valor de un activo financiero no debería justificarse únicamente por la expectativa de que otro inversor esté dispuesto a pagar un precio mayor en el futuro, sino por la capacidad del activo para generar flujos de caja. En este sentido, el valor intrínseco de una firma se encuentra determinado por los flujos de caja que se espera que genere a lo largo del tiempo, por el crecimiento esperado de dichos flujos y por el riesgo asociado a su materialización. Por lo tanto, una empresa con flujos de caja elevados, estables y menos inciertos debería tener un valor superior al de otra cuyos flujos sean menores o más volátiles.

Desde esta óptica, valorar una firma implica estimar el valor del negocio en su conjunto, considerando tanto sus activos existentes como sus oportunidades de crecimiento futuras. Una vez determinado el valor del negocio, puede obtenerse el valor atribuible a los accionistas restando la deuda y otros compromisos financieros. Alternativamente, también es posible valorar directamente el capital accionario descontando por una tasa apropiada los flujos de caja disponibles para los accionistas. Si ambos enfoques se aplican de manera consistente, deberían conducir a una estimación similar del valor por acción (Damodaran, 2011).

En finanzas corporativas, el flujo de fondos o flujo de caja representa la caja generada o utilizada por una empresa durante un período determinado. A diferencia del

resultado contable, que puede incluir ingresos y gastos devengados sin impacto inmediato en efectivo, el flujo de caja busca reflejar la capacidad real del negocio para generar recursos líquidos. Por su parte, la tasa de descuento cumple un rol central en los modelos de valuación por descuento de flujos de fondos ya que permite incorporar el valor tiempo del dinero y el riesgo asociado a los flujos esperados. (Damodaran, 2011).

3. Costo de capital de la firma

3.1. Costo del capital propio (k_e)

Representa la tasa de retorno exigida por los accionistas por invertir en el capital de una empresa. Dado que los accionistas tienen un derecho residual sobre los flujos de caja, asumen una mayor exposición al riesgo del negocio. Para estimar este costo, Damodaran presenta el uso de modelos de riesgo y retorno, especialmente el CAPM, según el cual el retorno esperado del capital propio surge de sumar a la tasa libre de riesgo una prima por riesgo de mercado ajustada por la beta de la compañía. En este enfoque, la beta mide la sensibilidad del rendimiento de la acción frente a los movimientos del mercado, mientras que la prima de riesgo de mercado refleja la compensación exigida por invertir en acciones en lugar de activos libres de riesgo (Damodaran, 2010).

$$K_e = R_f + \beta \times ERP$$

Donde:

- **K_e** : costo del capital propio.
- **R_f** : tasa libre de riesgo.
- **β** : beta de la acción o del negocio.
- **ERP** : prima de riesgo del mercado accionario.

Damodaran también advierte que la beta estimada con datos históricos puede ser retrospectiva e imprecisa. Por eso, en muchos casos recomienda utilizar una beta bottom-up, construida a partir de betas sectoriales comparables y ajustada por la estructura de capital de la empresa. Esto es especialmente relevante cuando se analizan compañías privadas, jóvenes, emergentes o con poca historia bursátil.

3.2. Costo de la deuda (k_d)

Representa la tasa que los acreedores exigen por financiar a la empresa. A diferencia del capital propio, la deuda suele tener pagos contractuales definidos, como intereses y amortización de principal. Sin embargo, estos pagos no están libres de riesgo, ya que los acreedores enfrentan la posibilidad de incumplimiento. Por esta razón, Damodaran sostiene que el costo de la deuda debe estimarse como la suma entre la tasa libre de riesgo y un spread de default, el cual refleja el riesgo crediticio de la firma. Además, dado que los intereses son deducibles impositivamente, el costo relevante

para la valuación suele ser el costo de la deuda después de impuestos (Damodaran, 2010).

$$Kd \text{ después de impuestos} = (Rf + \text{Default Spread}) \times (1 - T)$$

Donde:

- **Kd**: costo de la deuda.
- **Rf**: tasa libre de riesgo.
- **Default Spread**: prima por riesgo de incumplimiento.
- **T**: tasa impositiva marginal.

Damodaran menciona tres formas prácticas para estimar el spread de default: usar el rendimiento de bonos cotizantes de la empresa, tomar el spread asociado a su calificación crediticia o estimar una calificación sintética a partir de ratios financieros, como el ratio de cobertura de intereses.

3.3. Costo ponderado del capital (WACC)

Representa el costo promedio de las distintas fuentes de financiamiento utilizadas por una empresa, ponderadas según su participación en la estructura de capital. En la valuación de empresas, se utiliza para descontar los flujos de caja libres para la firma, es decir, aquellos flujos disponibles para todos los proveedores de capital, tanto acreedores como accionistas (Damodaran, 2010).

$$WACC = Ke \times E / (D + E) + Kd \times (1 - T) \times D / (D + E)$$

Donde:

- **E**: valor de mercado del equity.
- **D**: valor de mercado de la deuda.
- **Ke**: costo del capital propio.
- **Kd**: costo de la deuda antes de impuestos.
- **T**: tasa impositiva marginal.

3.4. Modelos CAPM adaptados a mercados emergentes

La estimación del costo del capital propio en mercados emergentes presenta dificultades adicionales respecto de los mercados desarrollados. La mayor volatilidad macroeconómica, la menor profundidad de los mercados de capitales, la escasez de empresas comparables locales y la menor disponibilidad de información confiable pueden afectar la estimación de variables centrales del CAPM, como la beta, la prima de riesgo de mercado y la tasa libre de riesgo. En este contexto, Damodaran señala que, en valuaciones de mercados emergentes, los supuestos usuales sobre primas de riesgo estables y tasas libres de riesgo claramente observables son más difíciles de sostener, por lo que resulta necesario incorporar de manera explícita el riesgo país y mantener consistencia entre moneda, flujos de fondos y tasa de descuento.

Para adaptar el CAPM tradicional a estos contextos, Pereiro propone el CAPM híbrido ajustado, que combina información del mercado global con ajustes específicos del mercado emergente. El modelo parte de una tasa libre de riesgo global, adiciona una prima por riesgo país y luego incorpora una prima de riesgo accionario global ajustada por un beta país y un beta sectorial global. En su formulación original, el modelo puede expresarse como:

$$K_e = R_{fG} + RC + \beta_{CLG} \times [\beta_{GG} \times ERP_g] \times (1 - R^2)$$

Donde:

- **R_{fG}**: representa la tasa libre de riesgo global, usualmente aproximada mediante el rendimiento de un bono del Tesoro de Estados Unidos de largo plazo.
- **RC**: la prima por riesgo país. En el caso argentino, puede aproximarse mediante el EMBI o mediante el spread de bonos soberanos argentinos denominados en dólares respecto de bonos del Tesoro estadounidense de duración comparable.
- **β_{CLG}**: el beta país entre el mercado accionario local y el mercado global
- **β_{GG}**: el beta sectorial global. Debe estimarse preferentemente como beta desapalancada promedio de empresas comparables y luego reapalancarse según la estructura de capital objetivo de la empresa valuada. Damodaran recomienda el uso de betas sectoriales o *bottom-up betas* cuando las betas de regresión individuales son poco confiables, retrospectivas o presentan ruido estadístico.
- **ERP_g**: la prima de riesgo accionario global, entendida como el retorno adicional exigido por invertir en acciones respecto de la tasa libre de riesgo. En el CAPM, esta prima se multiplica por la beta para estimar el premio por riesgo del capital propio.
- **R²**: el coeficiente de determinación entre el mercado accionario y el mercado de bonos. La lógica es que parte del riesgo país ya puede estar incorporada en la volatilidad del mercado accionario local o en la prima soberana. Por ello, el término (1 – R²) reduce la porción del riesgo que podría estar siendo duplicada.

Pereiro identifica esta formulación como *Adjusted Hybrid CAPM* y la plantea como una alternativa práctica para estimar el costo del capital propio en mercados emergentes.

No obstante, en mercados con baja integración financiera internacional, como lo es Argentina, el beta país estimado mediante una regresión entre los retornos del mercado local y los retornos del mercado global puede resultar inferior a uno. Esto puede ocurrir aun cuando el mercado local sea significativamente más volátil que el mercado desarrollado utilizado como referencia, debido a que la beta de regresión depende tanto de la volatilidad relativa como de la correlación entre ambos mercados. En estos casos, utilizar directamente dicho beta podría subestimar el riesgo económico de invertir en el país emergente. Por esta razón, se incorpora una modificación inspirada en el enfoque de Godfrey y Espinosa, que es desarrollado en Pereiro (2002), quienes proponen utilizar un beta ajustado basado en la volatilidad relativa entre el mercado emergente y el mercado global. En dicho enfoque, la beta ajustada se

obtiene a partir del cociente entre el desvío estándar de los retornos del mercado local y el desvío estándar de los retornos del mercado de referencia, aplicando además el factor de corrección para reducir el riesgo de doble contabilización.

En consecuencia, para este trabajo se adopta una versión ajustada del CAPM híbrido, en la cual el beta país de regresión es reemplazado por una medida de volatilidad relativa. Esta decisión busca capturar de forma más adecuada el mayor riesgo total del mercado argentino medido en dólares frente al mercado global de referencia.

$$K_e = R_{fG} + RC + A_{GE} \times \beta_{sectorial} \times ERP_g \times (1 - R^2)$$

Donde:

- **Ke**: costo del capital propio.
- **RfG**: tasa libre de riesgo global.
- **RC**: prima por riesgo país.
- **A_GE**: ajuste por volatilidad relativa inspirado en Godfrey-Espinosa. Se calcula como: $\sigma_{\text{mercado local}} / \sigma_{\text{mercado global}}$
- **βsectorial**: beta del sector o industria obtenida a partir de empresas comparables globales.
- **ERPg**: prima de riesgo del mercado accionario global.
- **R²**: coeficiente de determinación utilizado como ajuste para evitar la doble contabilización del riesgo país.

La elección de una medida basada en volatilidad relativa responde a que, en el caso argentino, la beta de regresión entre el Merval medido en dólares y el S&P 500 puede arrojar valores inferiores a uno. Si bien este resultado es estadísticamente posible, puede no ser económicamente representativo del riesgo de invertir en Argentina, ya que una baja correlación con el mercado global puede reducir la beta aun cuando la volatilidad local sea significativamente superior. Por lo tanto, el uso del cociente de desvíos estándar permite capturar el mayor riesgo total del mercado local frente al mercado desarrollado utilizado como referencia. Esta adaptación implica priorizar una medida de riesgo relativo total por sobre una medida estricta de covarianza con el mercado global, lo cual resulta razonable cuando el mercado local presenta baja integración financiera, alta volatilidad y episodios recurrentes de riesgo macroeconómico.

4. Modelos de valuación de empresas

4.1. Modelo de descuento de flujos: El modelo de descuento de flujos de fondos, o *Discounted Cash Flow* —DCF—, constituye uno de los enfoques centrales de la valuación financiera. Su lógica se basa en estimar el valor intrínseco de un activo o empresa a partir de los flujos de fondos que se espera que genere en el futuro, descontados a una tasa que refleje el riesgo asociado a dichos flujos. Damodaran sostiene que el enfoque DCF se fundamenta en la regla del valor presente, según la

cual “the value of any asset is the present value of expected future cash flows on it” [“el valor de cualquier activo es el valor presente de los flujos de caja futuros esperados de dicho activo”]. En este sentido, el valor económico de una compañía no depende únicamente de sus resultados contables actuales, sino de su capacidad esperada para generar flujos de fondos futuros y del riesgo que dichos flujos implican para los inversores. Es por ello que resulta conveniente empezar con el flujo de caja operativo, que representa la generación de fondos proveniente de las actividades operativas de la empresa, antes de considerar decisiones de financiamiento. En el marco de una valuación por DCF, suele partirse del resultado operativo, EBIT (*Earnings Before Interest and Taxes* o *Ganancias Antes de Intereses e Impuestos*), y ajustarse por impuestos para obtener el resultado operativo después de impuestos, también conocido como NOPAT (*Net Operating Profit After Taxes* o *Beneficio Operativo Neto Después de Impuestos*):

$$NOPAT = EBIT \times (1 - \text{tasa impositiva})$$

Este concepto permite aislar la rentabilidad generada por los activos operativos de la firma, sin mezclarla con los efectos de la estructura de capital. En línea con Damodaran, al valorar la firma los flujos deben estimarse después de impuestos y necesidades de reinversión, pero antes de los pagos de deuda, dado que el objetivo es medir la caja generada por el negocio para todos los aportantes de capital. En consecuencia, el flujo operativo constituye el punto de partida para estimar el flujo de caja libre de la firma, ya que refleja la capacidad del negocio de generar fondos a partir de sus operaciones recurrentes, independientemente de cómo se financien sus activos.

4.2. Flujo de caja libre de la empresa o Free Cash Flow to the Firm (FCFF)

Representa el flujo de fondos disponible para todos los proveedores de capital de la empresa, es decir, tanto acreedores financieros como accionistas. A diferencia del flujo de caja al accionista —FCFE—, el FCFF se calcula antes de considerar pagos de intereses, amortización de deuda o nuevas emisiones de deuda, ya que busca medir la caja generada por los activos operativos de la compañía independientemente de su estructura de financiamiento. Damodaran define la valuación de la firma a partir del FCFF al señalar que “The value of the firm, in the most general case, can be written as the present value of expected free cash flows to the firm” [“El valor de la firma, en el caso más general, puede expresarse como el valor presente de los flujos de caja libres esperados para la firma”].

En términos operativos, el FCFF suele estimarse partiendo del resultado operativo después de impuestos, al cual se le suman los cargos contables que no implican salida de caja, como depreciaciones y amortizaciones, y se le restan las inversiones necesarias para sostener o expandir la operación, incluyendo las inversiones en bienes de capital y las variaciones del capital de trabajo operativo. Su formulación general es:

$$FCFF = EBIT \times (1 - \text{tasa impositiva}) + \text{Depreciaciones y amortizaciones} - \text{CAPEX} - \Delta \text{ Working Capital}$$

El *CAPEX*, abreviatura de *capital expenditures*, puede traducirse como gasto de capital o inversión en bienes de capital. Representa los desembolsos destinados a adquirir, mantener, ampliar o mejorar activos de largo plazo, tales como maquinaria, equipamiento, instalaciones, infraestructura o propiedades. A diferencia de un gasto operativo, el *CAPEX* no se reconoce íntegramente como gasto del período, dado que se espera que genere beneficios económicos durante varios ejercicios. Por ello, contablemente suele capitalizarse como activo y luego distribuirse en el tiempo mediante depreciación o amortización. Desde el punto de vista financiero, sin embargo, constituye una salida efectiva de caja y, por lo tanto, reduce el flujo de caja libre disponible para la firma o para sus accionistas (Damodaran, 2011).

Por otro lado, a la hora de estimar esta partida generalmente se deducen las amortizaciones de los activos fijos que se encuentran en stock. La lógica detrás de esta técnica es considerar que las amortizaciones no implican una erogación de dinero y, por lo tanto, compensan el flujo de salida por los gastos de capital del período. De esta manera, al sumar las amortizaciones lograríamos llegar a lo que se conoce como *CAPEX* neto (Damodaran, 2006).

Por su parte, el *working capital*, o capital de trabajo, refleja los recursos que la empresa debe mantener invertidos para sostener su operatoria corriente. En términos contables, suele definirse como la diferencia entre activos corrientes y pasivos corrientes. Sin embargo, para fines de valuación, Damodaran propone ajustar esta definición tradicional, excluyendo partidas que no forman parte estrictamente de las necesidades operativas del negocio.

$$\text{Working capital operativo} = \text{activos corrientes operativos} - \text{pasivos corrientes operativos}$$

Dentro de los activos corrientes operativos se incluyen partidas como inventarios y cuentas por cobrar, mientras que suelen excluirse el efectivo excedente y las inversiones financieras de corto plazo. Del lado de los pasivos corrientes, se consideran obligaciones operativas como cuentas por pagar a proveedores, pero se excluye la deuda financiera de corto plazo, dado que esta forma parte de la estructura de financiamiento y no de la operación comercial. La variación del capital de trabajo tiene impacto directo sobre los flujos de caja: un aumento del capital de trabajo implica una salida de fondos, porque la empresa debe inmovilizar más recursos en inventarios o cuentas por cobrar; en cambio, una disminución libera caja y mejora el flujo disponible.

Desde esta perspectiva, el *FCFF* mide la caja que queda disponible luego de cubrir los gastos operativos, impuestos y necesidades de reinversión del negocio, pero antes de distribuir fondos a los acreedores o accionistas. Por ello, es el flujo apropiado para estimar el valor de la empresa mediante el descuento al costo promedio ponderado del

capital —WACC—. En línea con Damodaran, el modelo de valuación de la firma descuenta los flujos esperados de la firma al WACC, dado que este refleja el costo conjunto de las distintas fuentes de financiamiento utilizadas por la compañía.

En una valuación por DCF, una vez estimado el valor presente de los FCFF proyectados y del valor terminal, se obtiene el valor de los activos operativos de la firma. Posteriormente, para llegar al valor del equity, se deben sumar los activos no operativos —como caja excedente o inversiones financieras— y restar la deuda financiera neta. De esta manera, el FCFF permite separar el valor generado por las operaciones del efecto de la estructura de capital, lo cual resulta especialmente útil para comparar empresas con distintos niveles de endeudamiento.

La deuda financiera neta comprende las obligaciones contractuales que generan pagos de intereses y devolución de capital, ya sea en el corto o en el largo plazo menos el efectivo disponible de la firma. A diferencia de los pasivos operativos, como las cuentas por pagar a proveedores, la deuda financiera surge de decisiones de financiamiento y representa fondos provistos por acreedores financieros. En términos prácticos, incluye préstamos bancarios, obligaciones negociables, bonos emitidos, deuda de corto y largo plazo y otros instrumentos similares que devenguen intereses. De esta manera, la deuda financiera cumple un doble rol: por un lado, incide en el WACC a través del costo de la deuda y la estructura de capital; por otro, se deduce del valor de la firma para estimar el valor correspondiente a los accionistas.

5. Precios de commodities

5.1. Volatilidad

En esta investigación, la volatilidad se define como el grado de dispersión de los retornos respecto de su media. Siguiendo a Tsay (2010), dado que la volatilidad de una serie financiera no es directamente observable, debe estimarse a partir del comportamiento histórico de los retornos. En términos operativos, se utilizará el desvío estándar de los retornos como medida de volatilidad, ya que este resume la magnitud promedio de los desvíos respecto del retorno medio. Esta medida permite evaluar el nivel de incertidumbre asociado al precio del commodity y analizar su relación con variables financieras de las empresas mineras, tales como flujos futuros, decisiones de inversión y costo de capital.

5.2. Correlación

El análisis de correlación permite evaluar si dos variables presentan una relación lineal sistemática. En el contexto de esta investigación, se utiliza para analizar si la volatilidad de los precios de los commodities se encuentra asociada con variables financieras relevantes de las empresas mineras, tales como flujos de caja futuros, decisiones de inversión y costo de capital. Siguiendo a Tsay (2010), el coeficiente de correlación mide la fuerza de la dependencia lineal entre dos variables y toma valores entre -1 y 1. Asimismo, en series temporales financieras, las correlaciones cruzadas permiten analizar relaciones dinámicas entre variables y evaluar si una serie puede

anticipar movimientos posteriores en otra. Este enfoque resulta consistente con Rudenno (2012), quien destaca que las empresas mineras están particularmente expuestas a la volatilidad de los precios de commodities, debido a que sus ingresos y decisiones de inversión dependen de precios internacionales sobre los cuales tienen escaso control.

No obstante, la correlación no implica causalidad. Una relación estadística positiva o negativa entre la volatilidad del commodity y una variable financiera de la empresa no prueba, por sí misma, que una variable cause a la otra; simplemente evidencia una asociación lineal que debe interpretarse junto con fundamentos económicos y características propias del sector minero.

5.3. Modelización estocástica de precios futuros

Siguiendo a Dixit y Pindyck (1994), un proceso estocástico puede definirse como una representación matemática de la evolución temporal de una variable incierta. A diferencia de un enfoque determinístico, en el cual la trayectoria futura de una variable se considera conocida o proyectada bajo supuestos fijos, un proceso estocástico reconoce que dicha variable puede seguir múltiples trayectorias posibles, cada una asociada a una determinada probabilidad. En este sentido, los autores introducen procesos como el movimiento browniano, el movimiento browniano generalizado, los procesos de Poisson y los modelos de reversión a la media como herramientas para modelizar la incertidumbre económica. Este concepto se amolda perfectamente con la idea de incorporar explícitamente la incertidumbre asociada al precio del mineral en la valuación de activos mineros, dado que este constituye uno de los principales determinantes de los ingresos, márgenes operativos, flujos de caja esperados y decisiones de inversión. Esta incertidumbre resulta especialmente relevante en la minería, ya que las empresas del sector suelen ser tomadoras de precios internacionales y se encuentran expuestas a variables externas como la demanda global, la oferta, los inventarios, el tipo de cambio y las condiciones macroeconómicas.

No obstante, no todos los metales presentan la misma naturaleza económica ni financiera. Hull (2018) distingue entre *investment assets* y *consumption assets*. Los primeros son activos adquiridos, al menos en parte, con fines de inversión; los segundos son activos utilizados principalmente para consumo o producción. En el caso específico de los metales, Hull señala que algunos, como el cobre, se utilizan casi por completo en la producción de bienes y deben clasificarse como *consumption assets*, mientras que otros, como el oro y la plata, son mantenidos tanto para inversión como para consumo y deben clasificarse como *investment assets*.

Esta distinción es relevante para la selección del modelo de precios. Para metales con características de activos de inversión, como el oro y la plata, puede resultar razonable utilizar modelos estocásticos similares a los empleados para activos financieros, como el movimiento browniano geométrico. Bajo este enfoque, el precio sigue una trayectoria continua, positiva y afectada por shocks aleatorios proporcionales al nivel del precio:

$$dS = \mu Sdt + \sigma Sdz$$

Donde:

- **S:** representa el precio del activo
- **μ :** la tasa esperada de crecimiento
- **σ :** captura la volatilidad del proceso.
- **dz :** es el incremento de un movimiento browniano estándar.

Este tipo de proceso resulta apropiado cuando se busca representar activos líquidos, almacenables y negociados en mercados financieros.

En cambio, para commodities industriales o de consumo, como cobre, litio, níquel o zinc, suele ser más adecuado considerar modelos con reversión a la media. La justificación económica de este supuesto se apoya en la dinámica de oferta y demanda de los mercados minerales. Tilton y Guzmán (2016) explican que los precios de los minerales presentan una marcada volatilidad de corto plazo porque la demanda depende fuertemente del ciclo económico, mientras que la oferta suele ser poco flexible cuando la producción se aproxima a su capacidad instalada. En particular, cuando el producto se encuentra cerca de la restricción de capacidad, las curvas de oferta y demanda de corto plazo son relativamente empinadas, por lo que pequeños desplazamientos en la demanda pueden requerir variaciones significativas de precios para equilibrar el mercado.

Esta explicación permite conectar la economía minera con la modelización estocástica. En el corto plazo, los shocks de demanda pueden generar desvíos importantes respecto de un nivel de equilibrio; sin embargo, en horizontes más largos, los precios tienden a estar condicionados por la oferta, los costos de producción, la disponibilidad de nuevos proyectos, la tecnología y la calidad de los yacimientos. Tilton y Guzmán señalan que las fluctuaciones de corto plazo en los precios minerales se explican principalmente por desplazamientos de la demanda, mientras que las tendencias de largo plazo dependen en mayor medida de cambios en la oferta y en los costos de producción.

En este marco, la reversión a la media no debe interpretarse como un retorno mecánico a un precio fijo, sino como la tendencia del precio a corregir desvíos extremos a medida que operan los mecanismos económicos del mercado. Si los precios son elevados, se incentiva el aumento de producción, la entrada de nuevos proyectos o la explotación de depósitos de mayor costo; si los precios son bajos, se postergan inversiones, se reducen operaciones o salen productores menos eficientes. Esta lógica coincide con Schwartz (1997), quien sostiene que el impacto de los precios relativos sobre la oferta induce reversión a la media en los precios de commodities.

El primer modelo de Schwartz (1997) supone que el logaritmo del precio spot del commodity sigue un proceso de reversión a la media del tipo Ornstein-Uhlenbeck:

$$dX = \kappa(\alpha - X)dt + \sigma dz$$

Donde

- **$X(\ln(S))$** : representa el logaritmo natural del precio spot.
- **κ** : mide la velocidad de reversión hacia la media.
- **α** : representa el nivel de equilibrio de largo plazo del logaritmo del precio.
- **σ** : captura la volatilidad del proceso.
- **dz** : es el incremento de un movimiento browniano estándar.

En términos económicos, si el precio se encuentra por encima de su nivel de equilibrio, el modelo genera una presión esperada a la baja; si se encuentra por debajo, genera una presión esperada al alza. Además, Schwartz estima sus modelos para dos commodities comerciales (cobre y petróleo) y un metal precioso (oro), encontrando fuerte reversión a la media en los commodities comerciales, pero no en el oro. Esto refuerza la conveniencia de diferenciar el tratamiento metodológico entre metales con comportamiento financiero y commodities industriales.

Por lo tanto, la selección del proceso estocástico debe ser consistente con la naturaleza del metal analizado. Para activos como oro o plata, puede justificarse el uso de procesos brownianos geométricos y supuestos más cercanos a los modelos financieros tradicionales. Para commodities industriales, resulta más apropiado incorporar reversión a la media, análisis fundamental de oferta y demanda, y escenarios de sensibilidad.

5.4. Curva de futuros de commodities

La curva de futuros representa el conjunto de precios negociados hoy para la entrega futura de un activo o commodity en distintos vencimientos. En una valuación minera, puede utilizarse como referencia para estimar ingresos futuros, ya que provee precios observables de mercado y no únicamente supuestos internos del analista. Su utilidad es especialmente importante en los primeros años de proyección y en mercados con suficiente liquidez, donde los precios futuros reflejan transacciones efectivamente negociables.

Hull (2018) explica que, en el caso de los *investment assets*, como oro y plata, los precios forward y futuros pueden vincularse al precio spot mediante relaciones de arbitraje. En estos casos, la curva puede analizarse a partir del *cost of carry*, que incluye el costo financiero de mantener el activo, los costos de almacenamiento y los ingresos o beneficios asociados a su tenencia. Hull señala que los resultados de valuación permiten obtener precios de futuros para contratos sobre oro y plata, y que los costos de almacenamiento pueden tratarse como ingresos negativos.

La situación es diferente para los *consumption assets*, como el cobre u otros commodities industriales. Para estos activos, Hull (2018) advierte que no siempre es posible obtener el precio futuro únicamente como función del precio spot y otras

variables observables. En estos casos cobra importancia el convenience yield, entendido como el beneficio de mantener físicamente el commodity, por ejemplo para asegurar la continuidad de un proceso productivo o aprovechar la escasez temporaria. Por ello, en commodities industriales, la curva de futuros no solo refleja costo financiero y almacenamiento, sino también condiciones de escasez, inventarios y demanda física del producto.

En consecuencia, la curva de futuros no debe interpretarse automáticamente como una predicción exacta del precio spot futuro. Hull (2018) sostiene que la relación entre el precio futuro y el precio spot esperado depende, entre otros factores, del riesgo sistemático del activo: solo bajo ciertas condiciones el precio futuro puede considerarse equivalente al precio spot esperado. Por lo tanto, en una valuación minera, la curva de futuros puede ser utilizada como una referencia observable y defendible, pero no como una estimación infalible del precio futuro.

Desde una perspectiva metodológica, la curva de futuros puede utilizarse como insumo inicial para proyectar ingresos, especialmente cuando existe liquidez suficiente o cuando se analiza una estrategia de cobertura. Sin embargo, su uso debe complementarse con modelos estocásticos, análisis de sensibilidad y fundamentos de oferta y demanda, particularmente en commodities industriales o en horizontes largos. Esta postura es consistente con Rudenno (2012), quien recomienda prudencia en la proyección de precios de commodities, y con Schwartz (1997), quien muestra que los modelos estocásticos permiten capturar dinámicas relevantes como volatilidad, reversión a la media y estructura temporal de precios.

En síntesis, la curva de futuros y los modelos estocásticos no deben entenderse como enfoques opuestos, sino como herramientas complementarias. La curva de futuros aporta una referencia observable de mercado; los modelos estocásticos permiten representar la incertidumbre, la volatilidad y la posible reversión a la media de los precios. Para metales financieros como oro y plata, la curva de futuros y el proceso browniano geométrico pueden tener mayor sustento. Para commodities industriales como cobre o litio, resulta más prudente complementar la información de mercado con modelos de reversión a la media y análisis fundamental sectorial.

Metodología

1. Diseño general del modelo de valuación

El presente trabajo desarrolla un simulador de valuación de empresas del sector minero que permite proyectar flujos de caja futuros bajo distintos escenarios de precios y estimar el valor de la firma. El simulador está construido sobre el método del Descuento de Flujos de Caja (DCF) e integra los siguientes componentes:

1. Horizonte operativo y vida útil.
2. Variables macroeconómicas (inflación USD, inflación ARS, devaluación).
3. Proyección de precios de los metales.

4. Proyección de ventas.
5. Estado de Resultados y FCFF.
6. Costo de capital (WACC) dinámico.
7. Valuación relativa (múltiplos sectoriales).

El modelo contempla cuatro metales: Oro, Plata, Cobre y Litio. Para los metales preciosos (Oro y Plata) se adopta un Movimiento Browniano Geométrico (GBM); para los commodities industriales (Cobre y Litio) se emplea un proceso de Ornstein-Uhlenbeck (OU) con reversión a la media creciente por inflación. El horizonte de proyección explícita queda determinado por la vida útil operativa de la empresa. Cuando la empresa agota sus reservas dentro del período proyectado, no se calcula valor terminal. Cuando existe continuidad operativa con reservas mayores a 100 años, se adiciona un valor terminal calculado como perpetuidad con tasa de crecimiento constante g , ingresada como supuesto por el usuario.

2. Proyección de ventas

Los ingresos de cada período se proyectan como el producto entre la producción anual estimada y el precio del commodity para ese año:

$$Revenue(t) = \sum [Producción(m,t) \times Precio(m,t)]$$

donde la sumatoria corre sobre todos los metales activos en el modelo. La producción puede determinarse mediante dos métodos alternativos según la información disponible:

- **Método simplificado:** el analista ingresa directamente la producción anual y las reservas totales en la unidad del modelo (oz para Oro/Plata, toneladas para Cobre/Litio o m³ para Litio en salmuera), con tasas de crecimiento opcionales.
- **Método geológico:** se parte del throughput anual de la planta y la ley del mineral para estimar la producción física neta, aplicando un factor de recuperación metalúrgica y un descuento comercial. Para Litio en salmuera, la ley se expresa en mg/L y el throughput en m³/año bombeados.

En ambos casos, si el año final del horizonte corresponde a un período parcial (la vida útil tiene decimales), todas las variables del IS se prorratan por la fracción del año correspondiente. El precio de cada metal corresponde al escenario simulado mediante Monte Carlo (P5, P50 o P95) o a la curva de futuros ingresada por el usuario.

3. Enfoque de la investigación

El presente trabajo adopta un enfoque cuantitativo. La investigación busca determinar el valor intrínseco de empresas del sector minero mediante la construcción de un modelo de valuación replicable y parametrizable, que permita someter las variables de entrada a análisis de sensibilidad y simulación estocástica.

4. Herramienta desarrollada: Simulador de Valuación Minera

Como aporte metodológico central, se desarrolló un simulador interactivo de valuación de empresas mineras basado en el método de Flujos de Caja Libre de la Firma descontados (DCF). A diferencia de planillas estáticas, el simulador permite al analista modificar en tiempo real todos los parámetros del modelo e incorpora simulación de Monte Carlo sobre la trayectoria de precios de los commodities, generando escenarios pesimista (P5), base (P50) y optimista (P95) que se ponderan para obtener el valor esperado de la firma.

El simulador está construido mediante Python como una aplicación web y se encuentra alojado en Netlify, accesible desde cualquier navegador sin requerir instalación de software adicional por parte del usuario. La interfaz interactiva permite al analista modificar supuestos en tiempo real a través de controles numéricos, selectores y botones organizados en un flujo de seis pasos secuenciales.

El código se organiza en seis módulos secuenciales que el usuario ejecuta en orden:

- Módulo 1 — Portafolio y vida útil: selección de metales, método de producción y horizonte operativo.
- Variables macroeconómicas: inflación USD, inflación ARS y devaluación esperada (hasta 5 años explícitos más valor a perpetuidad).
- Módulo 2 — Proyección de precios: selección entre proceso estocástico o curva de futuros.
- Módulo 3 — Proyección de ventas: cálculo de Revenue por metal, año y escenario.
- Módulo 4 — FCFF y métricas financieras: Income Statement completo, DD&A por saldo de CAPEX, capital de trabajo por rotación y exportación a Excel.
- Módulo 5 — Valuación DCF: descuento de FCFF al WACC dinámico, cálculo de EV y Equity Value.
- Módulo 6 — Valuación relativa: múltiplos sectoriales (EV/EBITDA, EV/FCFF, EV/Valor reservas, P/E, AISC/Precio, P/NAV).

4.1. Librerías utilizadas

Las librerías de Python empleadas en el simulador, su origen y la función específica que cumplen dentro del modelo son las siguientes:

- **pandas** (PyPI – versión estable): almacenamiento y manipulación de tablas financieras (IS, FCFF, AISC). Agrupa, pivotea y exporta los DataFrames resultantes.
- **numpy** (PyPI – versión estable): álgebra lineal, generación de números aleatorios (Monte Carlo) y operaciones vectorizadas sobre series de precios.
- **yfinance** (PyPI – versión estable): descarga los datos históricos del Merval en USD y del S&P 500 (abril 2020 – mayo 2026) para el cálculo de A_{GE} y R^2 .
- **requests / time** (Biblioteca estándar Python + PyPI): consulta a la API de FRED (curva del Tesoro USA) y a la API del BCRD (EMBI Argentina). El módulo time introduce pausas entre requests para respetar los límites de cada servicio.

- **scipy.optimize** (PyPI – versión estable): ajuste de la curva Nelson-Siegel a los rendimientos del Tesoro USA mediante regresión no lineal (`curve_fit`), produciendo la tasa libre de riesgo interpolada para cada año del horizonte.
- **ipywidgets** (PyPI – versión estable): interfaz interactiva del simulador — controles numéricos, selectores, botones y paneles que permiten al analista modificar supuestos en tiempo real dentro de Google Colab.
- **IPython.display** (incluida en IPython): renderizado de tablas pandas, HTML con estilos y control del output en el notebook (`clear_output` para actualizar vistas).
- **openpyxl** (PyPI – versión estable): exportación del Income Statement, FCFF y AISC a un archivo Excel (.xlsx) con formato profesional — encabezados, colores y anchos de columna ajustados automáticamente.

4.2. Inputs del usuario

A continuación se detallan los parámetros que el analista debe ingresar para ejecutar el simulador, junto con su descripción y relevancia dentro del modelo. Todos los inputs tienen valores por defecto que facilitan el uso del simulador pero pueden modificarse libremente:

- **Metales activos:** selección de uno o más metales entre Oro, Plata, Cobre y Litio. Define el portafolio de producción y activa únicamente los campos relevantes para cada metal.
- **Método de producción:** simplificado (producción y reservas directas) o geológico (throughput, ley, recuperación, descuento comercial y, para Litio, concentración en mg/L). El método geológico calcula la producción neta a partir de los parámetros físicos de la mina; el simplificado acepta datos de reportes existentes.
- **Tipo de horizonte operativo:** vida útil determinada (las reservas se agotan) o continuidad operativa (exploración continua). Determina si se calcula valor terminal y cómo se proyectan las reservas.
- **Reservas y crecimiento:** reservas totales en oz (Oro/Plata) o toneladas (Cobre/Litio o m³ para salmuera). En modo geológico, toneladas de mina adicionales por año (`g_res_mina`). La vida útil y el horizonte de proyección explícito se derivan directamente de las reservas y la tasa de extracción.
- **Variables macroeconómicas:** inflación USD (π_{USD}) e inflación ARS (π_{ARS}), hasta 5 años explícitos más un valor a perpetuidad; devaluación ARS/USD con igual estructura. Reexpresan el nivel de reversión α de los procesos OU, el G&A en pesos y el CAPEX a lo largo del horizonte nominal, manteniendo la consistencia monetaria del modelo.
- **Método de proyección de precios:** estocástico (GBM para Oro/Plata, OU para Cobre/Litio, 10 000 simulaciones mensuales) o futuros (hasta 5 precios explícitos, replicándose el último). Determina la distribución de ingresos y la generación de escenarios P5, P50 y P95.
- **Parámetros estocásticos:** μ y σ para GBM; σ , κ y α para OU. Se precargan con los valores estimados (ver Cuadro 5) pero son editables. El analista puede ajustarlos según su visión de mercado o la sensibilidad requerida.

- **CAS (Cost of All Sales):** por metal, en % sobre ventas o en USD por unidad producida. Es el principal determinante del margen bruto y del AISC.
- **Royalties:** porcentaje global sobre ventas brutas. Refleja la carga provincial/nacional aplicable en Argentina.
- **Derechos de exportación:** porcentaje sobre ventas por metal, diferenciado por mineral. Captura la alícuota vigente para cada metal bajo la normativa argentina.
- **G&A:** monto anual en ARS por metal. Se convierte a USD con el tipo de cambio spot (YPFD.BA/YPF) y se proyecta con el factor $(1+\pi_{USD}) \times (1+\pi_{ARS}) / (1+dev)$. Permite capturar gastos corporativos en pesos que se deprecian en términos reales con la devaluación.
- **CAPEX (tres tipos):** (i) mantenimiento: USD/año (simplificado) o USD/ton $\times$ throughput (geológico); (ii) desarrollo: USD/ton $\times$ reservas remanentes(t); (iii) exploración: USD/ton $\times$ nuevas reservas(t). Todos se reexpresan por inflación USD. El CAPEX de desarrollo decrece con las reservas; el de exploración solo aplica en continuidad operativa.
- **DD&A – saldo inicial t=0:** valor de activos preexistentes antes del horizonte de proyección (USD). Punto de partida del saldo depreciable; el simulador acumula los CAPEX anuales y deprecia según la vida útil remanente.
- **CTNO inicial t=0:** Capital de Trabajo Neto Operativo al inicio del proyecto (USD). Determina el $\Delta CTNO$ del año 1; sin este dato se asume que el año 1 absorbe el CTNO completo como inversión.
- **Días de rotación:** días de inventario, días de cobranza y días de pago a proveedores. Calculan el CTNO por rotación: Inventarios = $CAS/365 \times \text{días_inv}$; $CxC = \text{Revenue}/365 \times \text{días_cobr}$; $CxP = (CAS+G\&A+Royalties+Der.exp.)/365 \times \text{días_pago}$.
- **Deuda financiera:** monto total en USD. Se deduce del EV para obtener el Equity Value y determina el pago de intereses anual ($\text{Deuda} \times K_d$).
- **Tasa impositiva efectiva:** ajusta el NOPAT y el costo de deuda después de impuestos en el WACC.
- **Ke y Kd — modo manual o CAPM:** manual aplica valores fijos ingresados por el usuario; CAPM produce una tasa de descuento variable por año (K_e del modelo híbrido ajustado; $K_d = R_f(\text{año}) + \text{spread crédito}$).
- **API key de FRED:** clave personal gratuita del Federal Reserve Economic Data. Permite descargar la curva del Tesoro USA en tiempo real para interpolar R_f mediante Nelson-Siegel.
- **D/(D+E) – estructura de capital:** proporción de deuda sobre capital total a valor de mercado. Define los pesos del WACC y, en el modo CAPM, el beta relevered mediante Hamada.
- **Costo de cierre y remediación:** USD por metal, incluyendo remediación ambiental e indemnizaciones. Se resta del FCFF del último año del horizonte, descontado al WACC correspondiente.
- **Probabilidades P5/P50/P95:** ponderación de los tres escenarios estocásticos. El valor esperado ponderado se usa como base del IS consolidado y del cálculo de EV.

- **Valor de mercado del equity (opcional):** capitalización bursátil de referencia en USD. Permite calcular P/E y P/NAV; sin este dato, el P/E usa el Equity Value DCF como proxy.

5. Modelo de valuación: DCF / FCFF

El valor de la empresa se calcula como el valor presente de los flujos de caja libre de la firma proyectados a n años más el valor terminal:

$$v_0 = \sum [FCFF_t / \Pi(1+WACC_y) \text{ para } y=1..t] + VT / \Pi(1+WACC_y) \text{ para } y=1..n$$

El FCFF de cada período se construye como:

$$FCFF_t = EBIT_t \times (1 - T) + DD\&A_t - CAPEX_{mant.t} - CAPEX_{exp.t} - CAPEX_{des.t} - \Delta CTNO_t$$

donde T es la tasa impositiva efectiva, DD&A la depreciación y amortización, los tres componentes de CAPEX la inversión en activos fijos y $\Delta CTNO$ la variación del capital de trabajo neto operativo. El valor terminal se estima bajo la fórmula de Gordon y solo se calcula cuando existe al menos un mineral con vida útil indefinida (continuidad operativa con reservas permanentes):

$$VT = FCFF_{n+1} / (WACC_{perp} - g)$$

con g como tasa de crecimiento a perpetuidad ingresada por el usuario. Para llegar al Equity Value se resta la deuda financiera del EV y se deduce el valor presente del costo de cierre ambiental e indemnizaciones, cash outflow que el simulador imputa al FCFF del último año del horizonte:

$$Equity\ Value = EV - Deuda\ financiera$$

5.1. Depreciación, Depleción y Amortización (DD&A)

El DD&A no se calcula como un porcentaje fijo sobre ventas sino sobre el saldo acumulado de CAPEX, siguiendo la metodología de unidades de producción adaptada:

$$Saldo(t) = Saldo(t-1) + CAPEX_{total}(t)$$

$$DD\&A(t) = Saldo(t) / Vida\ promedio\ de\ los\ activos\ operativos\ de\ la\ firma$$

El saldo inicial Saldo(0) es ingresado por el usuario y representa los activos preexistentes al inicio del horizonte de proyección. A su vez, la vida promedio de los activos operativos también es un dato ingresado por el usuario, que debería tener en cuenta su rotación, y se utiliza para estimar el DD&A anual. Esto generará un saldo en PP&E (Propiedad, Planta y Equipos) al final de la vida de la empresa que, multiplicado por un porcentaje de valor de recupero ingresado por el usuario, generará un ingreso de efectivo en el último flujo. El DD&A es una partida non-cash: mejora el escudo fiscal pero no afecta el FCFF porque se suma de vuelta al NOPAT.

5.2. Capital de trabajo neto operativo (CTNO)

El CTNO se calcula por rotación de días:

$$Inventarios(t) = (CAS(t) / 365) \times días\ de\ inventario$$

$$\begin{aligned}
CxC(t) &= (Revenue(t) / 365) \times \text{días de cobranza} \\
Base\ CxP(t) &= CAS(t) + G\&A(t) + Royalties(t) + Derechos\ exp.(t) \\
CxP(t) &= (Base\ CxP(t) / 365) \times \text{días de pago} \\
CTNO(t) &= Inventarios(t) + CxC(t) - CxP(t) \\
\Delta CTNO(t) &= CTNO(t) - CTNO(t-1)
\end{aligned}$$

El CTNO inicial CTNO(0) es ingresado por el usuario. El inventario y las CxP se basan en el CAS porque representan recursos inmovilizados y obligaciones con proveedores de insumos operativos; las CxC se basan en el Revenue porque representan ventas realizadas pero no cobradas.

6. Costo de capital (WACC) con tasa de descuento variable por año

Una contribución del modelo respecto a metodologías estándar es que el WACC no se asume constante a lo largo del período de proyección. Para cada año t la tasa de descuento integra el costo de capital propio y el costo de deuda del período:

$$WACC(t) = Ke(t) \times E/(D+E) + Kd(t) \times (1-T) \times D/(D+E)$$

Costo del capital propio: dos alternativas

El simulador ofrece dos modos de estimación del Ke, seleccionables mediante un radio button:

- **Manual:** el analista ingresa un Ke fijo que se aplica uniformemente a todos los años del horizonte.
- **CAPM Ajustado Híbrido (dinámico):** Ke varía año a año según la curva del Tesoro USA. La formulación adoptada sigue el modelo de Pereiro (2002) con la modificación de Godfrey-Espinosa:

$$Ke(t) = Rf(t) + EMBI + A_GE \times \beta_relevered \times ERPg \times (1 - R^2_EMBI)$$

Los parámetros EMBI, A_GE, $\beta_relevered$, ERPg y R^2_EMBI se cargan con los últimos valores disponibles al momento de la elaboración del trabajo, pero pueden ser modificados libremente por el analista en la interfaz del simulador. Rf(t) es el único componente que varía año a año, interpolado mediante la curva Nelson-Siegel ajustada a los rendimientos del Tesoro de los Estados Unidos obtenidos de FRED.

Costo de la deuda: dos alternativas

El simulador ofrece dos modos de estimación del Kd:

- **Manual:** el analista ingresa un Kd fijo.
- **Dinámico:** $Kd(t) = Rf(t) + \text{spread crédito}$, donde Rf(t) proviene de la misma curva Nelson-Siegel y el spread es un input del analista que refleja el riesgo crediticio de la empresa.

$$Kd\text{ después de impuestos} = Kd(t) \times (1 - T)$$

7. Simulación de Monte Carlo: modelado estocástico del precio de los commodities

El principal factor determinante de los ingresos en empresas mineras es el precio del commodity. Dado que este precio es incierto, se incorpora una simulación de Monte Carlo con 10.000 iteraciones mensuales (12 pasos por año) para generar una distribución de probabilidad del valor de la empresa en lugar de un único valor puntual. Los escenarios resultantes se resumen en los percentiles P5 (pesimista), P50 (base) y P95 (optimista), que el analista pondera con probabilidades asignables para obtener el valor esperado.

Para el modelado del precio de los commodities se utilizan dos procesos estocásticos según las características de cada metal:

- **Movimiento Browniano Geométrico (GBM) — Oro y Plata:**

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz$$

- **Proceso de Ornstein-Uhlenbeck (OU) — Cobre y Litio:**

$$dX = \kappa(\alpha - X)dt + \sigma dz$$

Proceso con reversión a la media apropiado para commodities industriales cuyo precio tiende a converger al costo marginal de producción de largo plazo. El nivel de reversión $\alpha(t)$ se reexpresa período a período según la inflación USD esperada ingresada por el usuario, de modo que el equilibrio nominal crezca al ritmo de los precios generales y el equilibrio real permanezca constante:

$$\alpha(t) = \alpha_{\text{base}} \times \Pi(1 + \pi_{\text{USD}}(y)) \quad \text{para } y = 1..t$$

La implementación utiliza la solución exacta de la transición del proceso OU en lugar de la aproximación de Euler, lo que garantiza que la varianza condicional proyectada sea correcta y evita sesgos en la dispersión de los escenarios. Los parámetros se estiman sobre series mensuales de precios nominales (2006–2026 para Oro, Plata y Cobre; desde 2023 para Litio) y se precargan en el simulador con los valores del Cuadro 5, pero son modificables por el analista.

Como alternativa a la simulación estocástica, el simulador permite ingresar una curva de futuros con hasta cinco precios explícitos por metal; el último valor se replica para los años restantes del horizonte. Ambos métodos son seleccionables mediante radio button y producen el mismo formato de salida (Revenue por año, metal y escenario), por lo que los módulos posteriores son independientes del método de proyección elegido.

8. Fuentes de datos

- Precio spot de los metales: obtenido de gold-api.com, que descarga automáticamente el precio de los contratos de futuros de mayor liquidez negociados en el CME Group al momento de la ejecución. Vale la pena aclarar que esta API funciona únicamente para los contratos de oro, plata y cobre ya que no cuenta con contratos líquidos para el carbonato de litio, por lo que este dato debe ser ingresado por el usuario.

- Curva de rendimientos del Tesoro USA: API de FRED (Federal Reserve Bank of St. Louis), series DGS1, DGS2, DGS5 y DGS10, consultadas en tiempo real con API key personal del usuario.
- EMBI Argentina: último valor disponible al momento de la elaboración del trabajo, según la serie histórica del EMBI publicada por el BCRD (Banco Central de la República Dominicana) para todos los países latinoamericanos. El valor se precarga en el simulador y puede ser modificado por el usuario.
- Beta sectorial y ERP global: últimos valores disponibles al momento de la elaboración del trabajo, obtenidos de la base de datos de Damodaran (2024) (páginas de betas sectoriales globales y retornos históricos del mercado). Ambos valores se precargan en el simulador y pueden ser modificados por el usuario.
- Merval en USD y S&P 500: datos históricos diarios obtenidos mediante yfinance para el período abril 2020 – mayo 2026, utilizados para estimar A_{GE} y R^2_{EMBI} . Los valores resultantes se precargan en el simulador y pueden ser modificados por el usuario.
- Tipo de cambio ARS/USD: se utiliza ExchangeRate-API, que indica el tipo de cambio oficial del día.
- Parámetros de procesos estocásticos: estimados sobre series históricas de Bloomberg (2006–2026 para Oro, Plata y Cobre; desde 2023 para Litio). Los valores precargados corresponden a los del Cuadro 5 y son editables por el usuario.
- Estados financieros e inputs operativos: ingresados manualmente por el analista en la interfaz del simulador, con la posibilidad de importar estados financieros en formato Bloomberg para extraer automáticamente variables como PP&E, inventarios, cuentas por cobrar y pagar, tasa impositiva efectiva, entre otros.

9. Variables macroeconómicas contextuales

Dado que el trabajo incorpora el contexto argentino como caso de aplicación, el modelo incluye variables macroeconómicas locales. Para cada variable, el usuario puede ingresar valores explícitos para los primeros cinco años y un valor a perpetuidad que aplica a partir del año seis:

- **Inflación USD (π_{USD}):** reexpresa el nivel de reversión α de los procesos OU, el CAPEX (tanto en USD/año como en USD/ton) y G&A, manteniendo la consistencia del flujo nominal. Default: 3%.
- **Inflación ARS (π_{ARS}):** junto con la devaluación, determina el factor de proyección del G&A en pesos: $G\&A_{USD}(t) = G\&A_{USD_base} \times (1 + \pi_{USD}) \times (1 + \pi_{ARS}) / (1 + dev)$, acumulado desde el año 1. Default: 30%.
- **Devaluación ARS/USD:** ingresa en el denominador del factor de G&A. Cuando la devaluación supera a la inflación en pesos, el G&A en USD cae en términos reales, capturando la competitividad cambiaria. Default: 30%.
- **Derechos de exportación por metal:** alícuota sobre ventas brutas, diferenciada por mineral para reflejar la normativa argentina vigente.

10. Supuestos del modelo

A continuación se resumen los principales supuestos implícitos y explícitos del simulador:

- **Rolleo de deuda:** se asume que la deuda financiera se mantiene constante a lo largo del horizonte de proyección, renovándose (rollover) en cada vencimiento en las mismas condiciones. Los intereses se calculan como $\text{Deuda} \times K_d(\text{año})$ sin incorporar amortización de capital. Este supuesto es consistente con la práctica habitual en modelos DCF de empresas en operación. El analista puede incorporar el impacto de la amortización ajustando el monto de deuda financiera.
- **Estacionariedad de parámetros estocásticos:** los parámetros de los procesos GBM (μ , σ) y OU (κ , α , σ) se mantienen constantes durante todo el horizonte de simulación. Si bien el nivel de reversión α se actualiza por inflación, la velocidad de reversión y la difusión no varían. Este supuesto, habitual en la literatura (Schwartz, 1997), puede no capturar cambios estructurales en los mercados de commodities.
- **Precios y flujos en dólares nominales:** todos los flujos se expresan en USD corrientes. Los procesos estocásticos se calibran sobre precios nominales y la tasa de descuento es la tasa nominal del Tesoro USA. Los costos en pesos se convierten a USD y luego se reexpresan según el factor $(1+\pi_{\text{USD}}) \times (1+\pi_{\text{ARS}}) / (1+\text{dev})$, manteniendo la consistencia del descuento nominal.
- **Sin cobertura de precios (hedging):** el modelo no incorpora estrategias de cobertura. Se asume que la empresa está plenamente expuesta al precio spot proyectado por el proceso estocástico o a la curva de futuros ingresada. El analista puede simular una cobertura ajustando los parámetros de volatilidad (σ) o ingresando precios de futuros fijos.
- **Volumen de producción sin incertidumbre:** la única fuente de incertidumbre modelizada es el precio del commodity. El throughput, la ley del mineral y las tasas de recuperación se mantienen constantes o con crecimiento determinístico. La incertidumbre geológica no es capturada por el modelo.
- **Tipo de cambio spot para conversión de G&A:** el G&A en pesos se convierte a USD utilizando el tipo de cambio obtenido automáticamente mediante ExchangeRate-API.
- **Sin impuesto mínimo ni alícuotas diferenciadas:** el simulador aplica una tasa impositiva uniforme sobre el EBT. No se modelizan el impuesto mínimo presunto, las alícuotas progresivas ni los beneficios del RIGI u otros regímenes promocionales, que el analista deberá incorporar como ajuste externo si corresponde.
- **Horizonte máximo de proyección explícita:** en ausencia de vida útil definida, el horizonte se limita a 50 años. En la práctica, para empresas con continuidad operativa, el valor terminal captura el valor residual más allá del horizonte explícito.

11. Limitaciones de la metodología

- La simulación de Monte Carlo asume que los parámetros estocásticos son estacionarios durante el período de proyección, lo que puede no reflejar cambios

estructurales en el mercado de commodities. El simulador permite al analista modificar los parámetros manualmente para incorporar su visión de largo plazo.

- La estimación de los parámetros del proceso de Ornstein-Uhlenbeck es sensible al período histórico seleccionado. En particular, la serie del Litio abarca apenas treinta observaciones mensuales (desde 2023), lo que reduce la confiabilidad estadística de κ y α . Los valores precargados deben entenderse como puntos de partida sujetos a revisión mediante análisis de sensibilidad.
- El modelo sólo incorpora incertidumbre en la evolución de los precios de los commodities, mientras que mantiene constantes o con crecimiento determinístico las variables operativas de la empresa (throughput, ley, recuperación y márgenes).
- El simulador no modela opciones reales (expansión, abandono, diferimiento), cuya valuación requeriría un marco adicional de opciones sobre activos reales no incorporado en el modelo DCF.

Análisis de resultados

1. Análisis de sensibilidad: Precios de los metales como determinantes de las variables financieras.

Con el objetivo de determinar qué variables financieras de las empresas mineras pueden modelizarse a partir de los precios de los metales, y en qué medida, se llevó a cabo un análisis de correlación entre las variaciones de los precios realizados de los principales metales producidos por cada compañía y tres variables centrales del modelo de valuación: el ingreso (revenue), la inversión en bienes de capital (CAPEX) y el costo promedio ponderado del capital (WACC). Este último se analiza junto con dos variables complementarias que permiten interpretar su comportamiento: la estructura de capital, medida a través del ratio deuda-patrimonio (D/E), y la variación neta de deuda financiera obtenida del estado de flujo de efectivo. El período analizado abarca entre seis y nueve años según la disponibilidad de datos por empresa, cubriendo un ciclo completo de precios de commodities. Resulta pertinente caracterizar este ciclo, ya que condiciona la interpretación de los resultados. Durante 2019 y comienzos de 2020 los precios de los metales industriales se mantuvieron deprimidos, afectados por la desaceleración del comercio global y, posteriormente, por el shock inicial de la pandemia. A partir del segundo semestre de 2020 y durante 2021 y 2022 se produjo un auge generalizado, impulsado por la recuperación de la demanda, los estímulos monetarios y fiscales, las disrupciones en las cadenas de suministro y el creciente interés en los minerales asociados a la transición energética. Hacia 2023 sobrevino una corrección parcial, vinculada al endurecimiento de la política monetaria y a la moderación de la demanda industrial, particularmente la china. Esta dinámica describe con razonable fidelidad la trayectoria de los metales industriales como el cobre, el hierro, el zinc y el níquel, cuyos precios responden de manera marcada al ciclo económico, tal como señalan Tilton y Guzmán (2016) al explicar que las fluctuaciones de corto plazo en los precios minerales se originan principalmente en desplazamientos de la demanda. El oro, en cambio, no comparte esta lógica. Por su naturaleza de activo de refugio y reserva de valor, su precio tendió a sostenerse e incluso a crecer de

forma casi continua a lo largo de todo el período, alcanzando máximos históricos hacia 2024 y 2025, ya que la incertidumbre macroeconómica y las tensiones geopolíticas incrementaron su demanda como cobertura justamente cuando los metales industriales se corregían.

La metodología adoptada se sustenta en el análisis de variaciones y no de niveles nominales. Las correlaciones se calcularon sobre las variaciones porcentuales anuales de los precios y de las variables monetarias (revenue y CAPEX). En el caso del WACC y del ratio D/E, que son tasas y ratios, las variaciones se midieron en puntos básicos y en puntos porcentuales respectivamente, evitando el cálculo de variaciones porcentuales sobre magnitudes que ya están expresadas en términos relativos. Para cada par se calculó la correlación contemporánea (r_0) y la correlación con un rezago de un año (r_1), que evalúa si la variación del precio en el año t anticipa la variación de la variable en el año $t+1$. Los coeficientes de determinación (R^2) acompañan cada correlación como medida del poder explicativo efectivo, siguiendo la advertencia de Tsay (2010) y Rudenno (2012) respecto de que la correlación no implica causalidad y debe interpretarse junto con los fundamentos económicos del sector.

1.1. Ingresos (revenue):

Los resultados muestran que el precio del metal explica de forma significativa la variación del revenue en las empresas con mayor concentración productiva en un único commodity. Como se observa en el Cuadro 1, Southern Copper (cobre, $r_0 = 0,938$; $R^2 = 0,880$), Freeport-McMoRan (cobre, $r_0 = 0,931$; $R^2 = 0,867$) y BHP (cobre, $r_0 = 0,935$; $R^2 = 0,874$) presentan correlaciones contemporáneas muy fuertes y positivas, lo que indica que las variaciones del precio del cobre explican entre el 86% y el 88% de la varianza del revenue de esas empresas en el mismo año. Río Tinto (cobre) y Glencore (zinc) completan el grupo de relaciones de alta potencia explicativa. Estos resultados son consistentes con la lógica sectorial: las empresas mineras son tomadoras de precios en los mercados internacionales (Rudenno, 2012), y la mayor parte de su revenue proviene de la venta de uno o dos metales principales. Cuando ese metal concentra la mayor parte de los ingresos, el coeficiente de correlación se aproxima a la unidad porque la relación es prácticamente mecánica: un mayor precio, con un volumen relativamente constante, produce un mayor ingreso.

Un resultado destacado es la aparición de relaciones con rezago en las empresas auríferas diversificadas. Agnico Eagle (plata, $r_1 = 0,724$; $R^2 = 0,524$) y Vale (oro, $r_1 = 0,806$; $R^2 = 0,650$) presentan correlaciones contemporáneas bajas pero rezagadas significativas, lo que resulta consistente con la existencia de contratos de streaming, coberturas de precio y estructuras de venta que difieren en el tiempo el impacto del precio de mercado sobre el ingreso reconocido. Barrick Gold, en cambio, muestra una correlación baja en ambos horizontes, resultado atribuible a que sus ingresos durante el período estuvieron afectados por desinversiones de activos que introducen ruido en la serie de revenue. En síntesis, los precios de los metales constituyen un determinante significativo del revenue y pueden utilizarse como variable de proyección

en el simulador de valuación, conclusión especialmente robusta para los metales de mayor liquidez y concentración productiva.

Cuadro 1. Correlaciones entre la variación del precio y la variación del revenue

Empresa	Metal	r_0	$R^2 (0)$	r_1	$R^2 (1)$	Interpretación
Southern Copper	Cobre	0,938	0,880	-0,442	0,195	Fuerte positiva
Freeport	Cobre	0,931	0,867	-0,097	0,009	Fuerte positiva
BHP	Cobre	0,935	0,874	-0,382	0,146	Fuerte positiva
Rio Tinto	Cobre	0,902	0,814	-0,366	0,134	Fuerte positiva
Glencore	Zinc	0,891	0,793	0,141	0,020	Fuerte positiva
Vale	Cobre	0,888	0,789	-0,404	0,163	Fuerte positiva
Vale	Oro	-0,102	0,010	0,806	0,650	Moderada con rezago
Agnico Eagle	Plata	0,064	0,004	0,724	0,524	Moderada con rezago

Nota: r_0 = correlación contemporánea; r_1 = correlación con rezago de un año. R^2 = coeficiente de determinación. Metodología de variaciones porcentuales anuales. Fuente: elaboración propia en base a reportes anuales de las empresas y precios realizados de los metales.

1.2. Inversión en capital (CAPEX):

El análisis del CAPEX arroja conclusiones diferentes a las del revenue. Las correlaciones contemporáneas son, en general, moderadas o bajas en la mayoría de las empresas. Sin embargo, emerge un patrón sistemático al incorporar el rezago temporal: en la mayoría de los casos analizados r_1 resulta mayor que r_0 , es decir, la variación del precio del metal en el año t muestra una correlación más fuerte con la variación del CAPEX del año $t+1$ que con la del mismo año. Este resultado es económicamente interpretable, ya que las decisiones de inversión en la industria minera no se ejecutan de forma instantánea: los precios favorables de un año generan mayor flujo de caja y habilitan la aprobación de nuevos planes de inversión, pero la ejecución efectiva del CAPEX requiere un ciclo de planificación y contratación que suele insumir entre doce y dieciocho meses. Esta dinámica es consistente con lo que Damodaran (2009) describe para las empresas de commodities.

Los casos más destacados son las empresas auríferas. Barrick Gold (oro, $r_1 = 0,953$; $R^2 = 0,908$), Agnico Eagle (oro, $r_1 = 0,932$; $R^2 = 0,869$) y Newmont (oro, $r_1 = 0,874$; $R^2 = 0,764$) presentan las correlaciones rezagadas más fuertes de la muestra, lo que sugiere que el precio del oro del año t anticipa una proporción elevada de la varianza del CAPEX del año siguiente. En contraste, Glencore y Freeport-McMoRan muestran correlaciones bajas, debido a la alta diversificación de metales en el primer caso y a la venta de activos durante 2016 y 2017 en el segundo, factores que introducen discontinuidades en la serie de CAPEX que no responden al ciclo de precios.

No obstante, la heterogeneidad de los resultados entre empresas, con coeficientes de determinación que van desde valores cercanos a cero hasta 0,91, impide establecer una relación generalizable para el conjunto de la muestra. En consecuencia, se descarta la incorporación de este enfoque como mecanismo de proyección del CAPEX en el simulador de valuación. El nivel de inversión será tratado como un supuesto

explícito del analista, fundamentado en los planes de expansión declarados por cada empresa y en las características propias del proyecto minero analizado.

Cuadro 2. Correlaciones entre la variación del precio y la variación del CAPEX

Empresa	Metal	r0	R ² (0)	r1	R ² (1)	Interpretacion
Barrick Gold	Oro	0,882	0,778	0,953	0,908	Fuerte (heterogenea)
Agnico Eagle	Oro	0,902	0,813	0,932	0,869	Fuerte (heterogenea)
Newmont	Oro	0,828	0,686	0,874	0,764	Fuerte (heterogenea)
FCX	Molibdeno	0,295	0,087	0,696	0,484	Moderada con rezago
Glencore	Cobre	0,175	0,031	0,637	0,406	Moderada con rezago
Vale	Hierro	0,324	0,105	0,701	0,491	Moderada con rezago

Nota: r0 = correlación contemporánea; r1 = correlación con rezago de un año. R² = coeficiente de determinación. Metodología de variaciones porcentuales anuales. Fuente: elaboración propia en base a reportes anuales de las empresas y precios realizados de los metales.

1.3. Costo de capital (WACC), estructura de capital y financiamiento:

El análisis de la relación entre los precios de los metales y el costo de capital se abordó a través de tres dimensiones complementarias. La primera es la prima de riesgo de la empresa, obtenida como la diferencia entre el WACC y la tasa libre de riesgo, que permite aislar el componente de riesgo propio de la compañía separando el efecto del ciclo de tasas internacionales. La segunda es el ratio D/E, que refleja la estructura de capital. La tercera es la variación neta de deuda financiera del estado de flujo de efectivo, que captura las decisiones efectivas de financiamiento en cada período.

La dimensión con mayor consistencia estadística y mejor alineación con la hipótesis teórica es el ratio D/E. Como se observa en el Cuadro 3, en el 70% de los pares analizados la correlación es negativa, lo que indica que los años de mayor precio de los metales coinciden con una reducción del endeudamiento relativo. Los casos más destacados son Glencore con carbón ($r_0 = -0,972$; $R^2 = 0,945$) y Newmont con oro y plata (R^2 de 0,870 y 0,823 respectivamente). La interpretación financiera es directa: cuando el precio del metal sube, mejora el flujo de caja operativo, la empresa genera mayor caja interna y reduce su dependencia del financiamiento externo, lo que se traduce en un desapalancamiento del balance. Este mecanismo es consistente con la teoría del orden de jerarquía financiera de Myers y Majluf (1984), según la cual las empresas prefieren financiarse primero con fondos propios generados internamente antes de recurrir a deuda externa, y con la evidencia de Santillán Salgado et al. (2018) para empresas minero-metalúrgicas latinoamericanas.

La prima de riesgo, en cambio, ofrece el hallazgo más complejo. Las correlaciones rezagadas más fuertes tienen signo positivo, es decir, cuando el precio del metal sube en el año t , la prima de riesgo tiende a aumentar en el año $t+1$, como en Vale con hierro ($r_1 = 0,982$; $R^2 = 0,964$) o Río Tinto con hierro ($r_1 = 0,957$; $R^2 = 0,916$). Este resultado, paradójico si se lo interpreta de forma aislada, se explica por un efecto de

composición temporal: los precios de los metales alcanzaron sus máximos en 2021 y 2022, precisamente el período en que la Reserva Federal inició su ciclo de subas de tasas más pronunciado en décadas. Aunque se aisló la tasa libre de riesgo del WACC, el ciclo de tasas también incide sobre las primas de riesgo a través de la ampliación generalizada de los spreads de crédito, efecto que se superpone a la relación entre el precio y el riesgo propio de la empresa y la enmascara. La excepción consistente con el signo esperado aparece en las empresas productoras de plata, como Southern Copper ($r_0 = -0,717$) y Agnico Eagle ($r_0 = -0,710$), donde el precio de la plata actúa con mayor independencia del ciclo macroeconómico y la señal se captura de forma más limpia.

Finalmente, la variación neta de deuda revela comportamientos diferenciados de financiamiento. En la mayoría de los casos con correlaciones fuertes el signo es negativo, lo que refuerza el patrón de desapalancamiento observado en el ratio D/E, como en Southern Copper con cobre ($r_1 = -0,974$) o BHP con cobre ($r_0 = -0,860$). Sin embargo, algunas empresas presentan signo positivo, lo que indica que tienden a emitir deuda neta en los años de precios altos. Es el caso de Freeport-McMoRan con cobre ($r_1 = 0,921$) y de Barrick Gold con oro ($r_0 = 0,776$). Conviene precisar el alcance de esta observación: lo que el dato refleja es una asociación entre el precio del metal y la decisión de emitir o repagar deuda, es decir, un comportamiento de financiamiento observable en el flujo de efectivo, y no una relación entre el precio y el costo de esa deuda. La interpretación se apoya en la mayor disponibilidad de caja y en el momento del ciclo en que se toman las decisiones de financiamiento, en línea con la teoría del market timing de la estructura de capital de Baker y Wurgler (2002), sin que ello implique afirmar que el WACC de la empresa disminuye como función del precio del metal. La convivencia de ambos patrones, repago en unas empresas y emisión en otras, confirma que no existe una respuesta universal del sector ante los ciclos de precios en materia de financiamiento.

Cuadro 3. Correlaciones entre la variación del precio y la variación del ratio D/E

Empresa	Metal	r_0	$R^2 (0)$	r_1	$R^2 (1)$	Interpretación
Glencore	Carbon	-0,972	0,945	-0,222	0,049	Fuerte negativa
Newmont	Oro	-0,933	0,870	-0,512	0,262	Fuerte negativa
Newmont	Plata	-0,907	0,823	-0,531	0,282	Fuerte negativa
Agnico Eagle	Cobre	-0,165	0,027	-0,990	0,980	Fuerte negativa (rezago)
Glencore	Cobre	-0,274	0,075	-0,807	0,652	Fuerte negativa (rezago)
Vale	Niquel	-0,787	0,620	-0,742	0,550	Fuerte negativa

Nota: variación del ratio D/E medida en puntos porcentuales. Signo negativo esperado: un mayor precio se asocia con un menor endeudamiento. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4. Correlaciones entre la variación del precio y la variación de la prima de riesgo

Empresa	Metal	r0	R ² (0)	r1	R ² (1)	Interpretación
Vale	Hierro	-0,233	0,054	0,982	0,964	Positiva (ciclo de tasas)
Rio Tinto	Hierro	-0,105	0,011	0,957	0,916	Positiva (ciclo de tasas)
Glencore	Cobre	0,082	0,007	0,931	0,866	Positiva (ciclo de tasas)
Southern Copper	Cobre	0,097	0,009	0,913	0,833	Positiva (ciclo de tasas)
Southern Copper	Plata	-0,717	0,514	0,672	0,452	Negativa contemporánea
Agnico Eagle	Plata	-0,710	0,504	0,643	0,413	Negativa contemporánea

Nota: variación de la prima de riesgo (WACC menos tasa libre de riesgo) medida en puntos básicos. El signo positivo en las correlaciones rezagadas se atribuye al ciclo de tasas de la Reserva Federal durante 2021 a 2023. Fuente: elaboración propia.

2. Parámetros de los procesos estocásticos de proyección de precios

Establecido que el precio de los metales constituye el principal determinante del ingreso de las empresas mineras, corresponde analizar los parámetros estimados para proyectar dichos precios dentro del simulador. Esta sección describe las series de tiempo utilizadas, los períodos de calibración, los parámetros obtenidos para cada proceso estocástico y los supuestos e implicancias que de ellos se derivan, con el objetivo de explicitar las decisiones metodológicas que condicionan la trayectoria proyectada de los precios y, por consiguiente, la valuación resultante.

2.1. Series de tiempo, base de cálculo y retornos

Las series de precios utilizadas para la calibración provienen de Bloomberg. Para el oro, la plata y el cobre se dispone de datos mensuales desde mayo de 2006 hasta abril de 2026, lo que arroja 240 observaciones por metal y cubre un período suficientemente amplio como para abarcar varios ciclos completos de precios. El litio constituye una excepción relevante: por tratarse de un mercado de cotización organizada reciente, su serie comienza en julio de 2023, por lo que, una vez cambiada su frecuencia a mensual, ofrece apenas alrededor de treinta observaciones. Esta marcada asimetría en la extensión de las series condiciona la confiabilidad relativa de los parámetros estimados y se retoma al discutir las limitaciones.

Una decisión metodológica central es que los procesos se calibraron sobre **precios y retornos nominales**, es decir, sobre los precios efectivamente observados en el mercado, sin deflactar por inflación. Esta elección responde a un criterio de consistencia con el resto del modelo de valuación. Dado que las demás partidas del flujo de fondos —costos operativos, inversiones de capital y capital de trabajo— se reexpresan según la inflación esperada que define el usuario, y que la tasa de descuento se construye a partir de la tasa libre de riesgo nominal del Tesoro de los Estados Unidos obtenida de FRED, proyectar los precios de los metales en términos nominales asegura que numerador y denominador del descuento queden expresados

en la misma base monetaria. Mantener una parte del flujo en términos reales y otra en términos nominales introduciría una inconsistencia que distorsionaría el valor estimado. Por lo tanto, las trayectorias de precios proyectadas incorporan implícitamente el componente inflacionario, de manera coherente con el carácter nominal del flujo de fondos descontado.

Los parámetros se estimaron sobre **retornos logarítmicos** (o continuos) y no sobre retornos discretos. Esta elección obedece a tres razones: los retornos logarítmicos son aditivos en el tiempo, lo que facilita la agregación temporal en la simulación; son internamente consistentes con los procesos empleados, ya que tanto el Movimiento Browniano Geométrico como el proceso de Ornstein-Uhlenbeck de Schwartz (1997) están formulados en tiempo continuo sobre el logaritmo del precio; y garantizan que los precios reconstruidos sean siempre positivos. El precio inicial de cada simulación se toma del último valor de mercado disponible, homogeneizando las unidades para que coincidan con las de la serie de calibración.

2.2. Procesos para metales preciosos: Movimiento Browniano Geométrico

Para el oro y la plata se adoptó un Movimiento Browniano Geométrico, decisión fundamentada en su naturaleza de activos de inversión en el sentido de Hull (2018) y en la evidencia de Schwartz (1997), quien no encuentra reversión a la media en el oro. Bajo este proceso el precio carece de un nivel de equilibrio al cual tender y evoluciona según un drift y una volatilidad constantes, con shocks proporcionales al nivel del precio. El drift se estimó como el promedio anualizado de los retornos logarítmicos mensuales y la volatilidad como su desvío estándar anualizado. La implementación incorpora el término de corrección de Itô, de modo que el drift del logaritmo del precio descuenta la mitad de la varianza, asegurando que la proyección sea insesgada respecto del precio esperado del proceso definido por dS igual a μ por S por dt más σ por S por dz .

Los parámetros estimados sobre las series nominales se presentan en el Cuadro 5. El oro exhibe un drift de 9,88 % anual y una volatilidad de 17,02 %, mientras que la plata muestra un drift de 8,90 % y una volatilidad de 31,90 %. La volatilidad de la plata casi duplica la del oro, comportamiento consistente con su menor tamaño de mercado y su mayor componente industrial, factores que la exponen a oscilaciones más amplias. Ambos drift son nominales y, por construcción, incorporan tanto el crecimiento real del precio como la inflación acumulada en el período de calibración.

La principal implicancia de estos valores debe interpretarse con cuidado. Al tratarse de drift nominales, una parte de la apreciación proyectada corresponde a la inflación y resulta consistente con el resto del flujo nominal; no obstante, su magnitud sigue siendo elevada porque el período de calibración estuvo dominado por una fase de apreciación excepcional de los metales preciosos, particularmente en los años recientes en que el oro alcanzó máximos históricos. Extrapolar de manera indefinida un drift cercano al 10 % anual podría sobreestimar los ingresos proyectados de las empresas productoras de metales preciosos en horizontes largos. Por esta razón, el simulador permite al analista ajustar el drift, posibilitando la adopción de supuestos más

conservadores —por ejemplo, anclando el crecimiento nominal de largo plazo a la suma de la inflación esperada y un crecimiento real moderado— cuando el horizonte de valuación así lo requiera.

2.3. Procesos para metales industriales: reversión a la media de Ornstein-Uhlenbeck

Para el cobre y el litio se empleó un proceso de Ornstein-Uhlenbeck, que captura la tendencia de los commodities industriales a revertir hacia un nivel de equilibrio de largo plazo determinado por los fundamentos de oferta y demanda. Esta elección se apoya en Tilton y Guzmán (2016), quienes explican que las fluctuaciones de corto plazo de los minerales se originan en desplazamientos de la demanda mientras que en el largo plazo los precios quedan condicionados por el costo marginal de producción, y en Schwartz (1997), que documenta una fuerte reversión a la media en los commodities comerciales. Los parámetros se estimaron mediante una regresión autorregresiva de primer orden sobre el nivel nominal del precio, de la cual se derivan la velocidad de reversión, la media de largo plazo y la difusión del proceso. La simulación emplea la solución exacta de la transición, utilizando la varianza condicional correcta en lugar de una aproximación simple, lo que evita sesgos en la dispersión proyectada.

Los parámetros se resumen en el Cuadro 5. Para el cobre se estimó una media de largo plazo de 8.380 dólares por tonelada, una velocidad de reversión de 0,253 y una difusión de 1.778 dólares por tonelada, lo que implica una vida media de reversión de aproximadamente 2,74 años. Este valor indica que, ante un desvío respecto del equilibrio, el proceso corrige la mitad de la desviación en algo menos de tres años, ritmo coherente con la conocida persistencia de los ciclos del cobre. Para el litio se obtuvo una media de largo plazo equivalente a unos 12.110 dólares por tonelada, una velocidad de reversión de 2,95 y una difusión cercana a 6.700 dólares por tonelada, con una vida media de apenas 0,24 años. La rapidez de reversión estimada para el litio y la magnitud de su difusión son consecuencia directa de la brevedad y la fuerte tendencia decreciente de su serie, lo que obliga a tomar estos parámetros con cautela.

La implicancia central surge de comparar la media de largo plazo con el precio vigente al inicio de la proyección. En ambos metales el precio de partida se ubica por encima de su respectiva media de equilibrio —el cobre en torno a 13.000 dólares por tonelada frente a una media de 8.380, y el litio alrededor de 21.000 frente a 12.110—, por lo que el modelo proyecta una trayectoria descendente hacia esos niveles de equilibrio, los cuales se actualizan por inflación a lo largo de la proyección según se detalla más adelante. Esta característica evita extrapolar de forma indefinida los precios elevados de la fase alta del ciclo, pero implica que la valuación de las empresas de cobre y litio será especialmente sensible al valor asumido para la media de largo plazo. En particular, la media del litio constituye el supuesto más delicado de todo el módulo de precios: su serie es breve y estuvo marcada por una caída casi continua desde el episodio extraordinario de 2022 y 2023, lo que dificulta estimar un nivel de equilibrio representativo. El valor obtenido debe entenderse como un supuesto de trabajo sujeto a revisión, sobre el cual resulta imprescindible realizar un análisis de sensibilidad.

Cuadro 5. Parámetros de los procesos estocásticos de proyección de precios (series nominales)

Metal	Proceso	Drift μ (anual)	Volatilidad σ	Velocidad κ	Media LP α	Vida media reversión
Oro	GBM	9,88 %	17,02 %	—	—	—
Plata	GBM	8,90 %	31,90 %	—	—	—
Cobre	OU	—	1.778 USD/t	0,253	8.380 USD/t	$\approx 2,74$ años
Litio	OU	—	6.700 USD/t	2,95	12.110 USD/t	$\approx 0,24$ años

Nota: para el oro y la plata (GBM) el drift μ y la volatilidad σ se expresan como tasas anuales nominales estimadas sobre retornos logarítmicos mensuales; σ es adimensional. Para el cobre y el litio (OU) la difusión σ y la media de largo plazo α se expresan en dólares por tonelada y κ es la velocidad de reversión anual. La vida media de reversión se calcula como $\ln(2)/\kappa$. Series mensuales 2006–2026 para oro, plata y cobre; serie del litio desde 2023, remuestreada a frecuencia mensual. Fuente: elaboración propia sobre precios nominales de Bloomberg.

3. Supuestos e implicancias generales

El análisis integrado permite establecer una jerarquía clara entre las variables del modelo. El revenue es la variable más directamente vinculada al precio del metal, con una relación fuerte, contemporánea y estadísticamente robusta para las empresas con concentración productiva en un commodity principal. Esto valida el supuesto central del modelo de valuación minera, según el cual el ingreso puede proyectarse como función del precio esperado multiplicado por el volumen de producción estimado, sustentándose en los precios futuros obtenidos de la curva de futuros o del proceso estocástico modelado. El CAPEX muestra una relación real pero diferida y altamente heterogénea entre empresas, lo que impide su proyección automática en función del precio. El costo de capital presenta una situación similar: si bien la estructura de capital responde de forma consistente al ciclo de precios, la prima de riesgo estuvo dominada por el ciclo de tasas internacionales durante el período analizado, lo que impide proyectar el WACC de forma confiable a partir del precio del metal. En consecuencia, tanto el CAPEX como el WACC serán tratados en el simulador como supuestos exógenos definidos por el analista, calibrados a partir de los planes de inversión declarados por cada compañía y de las condiciones del mercado de capitales vigentes. Esta jerarquía —con un revenue endógeno al precio y un CAPEX y un WACC exógenos— define la arquitectura central del modelo propuesto.

Estos hallazgos pueden contrastarse con la evidencia de Dewi y Savitri (2025), quienes encuentran que el valor de las empresas mineras está determinado principalmente por la estructura de capital, con una relación positiva y significativa, y por la volatilidad del flujo de caja, con una relación negativa. La coincidencia más relevante se da en torno a la estructura de capital: mientras que dichos autores la identifican como un determinante directo del valor de mercado de la firma, el presente análisis muestra que esa misma estructura, medida a través del ratio de endeudamiento, es la dimensión del costo de capital que responde de manera más consistente al ciclo de precios de los metales. Si la volatilidad del flujo de caja reduce el valor de la empresa y dicho flujo depende en gran medida del precio de los metales a través del revenue, la

modelización estocástica del precio que incorpora el simulador adquiere una justificación adicional, al permitir cuantificar explícitamente esa volatilidad y trasladarla a una distribución de valores de la firma en lugar de a una estimación puntual. No obstante, conviene precisar la diferencia de enfoque: mientras que Dewi y Savitri (2025) analizan determinantes del valor de mercado mediante un estudio empírico de corte transversal, el presente trabajo persigue la estimación del valor intrínseco mediante flujos de fondos descontados, por lo que la estructura de capital interviene aquí no como variable explicativa del precio de mercado sino como componente del costo de capital y de la posición de deuda neta que se deduce del valor de la firma.

Los parámetros de los procesos estocásticos descansan sobre tres supuestos que conviene explicitar. El primero es la consistencia nominal del flujo: al calibrar los procesos sobre precios nominales, las trayectorias proyectadas quedan expresadas en moneda corriente, en línea con los costos, las inversiones y la tasa de descuento del modelo. Para los procesos de Ornstein-Uhlenbeck, el nivel de reversión α se actualiza período a período según la inflación esperada ingresada por el usuario, de modo que el equilibrio nominal crezca al ritmo de los precios generales y el equilibrio real permanezca constante; los procesos de Movimiento Browniano Geométrico no requieren este ajuste, dado que su drift nominal ya incorpora la inflación de forma natural. El segundo supuesto es la estacionariedad de los parámetros durante el horizonte de proyección: el drift y la volatilidad del GBM, así como la velocidad de reversión y la difusión del proceso OU, se mantienen constantes a lo largo de toda la simulación (Schwartz, 1997), supuesto que puede no reflejar cambios estructurales en los mercados de commodities, como transformaciones tecnológicas en la demanda o la irrupción de nueva oferta, particularmente relevantes para el litio y su vínculo con la transición energética. El tercero es la sensibilidad de las estimaciones al período de calibración: la diferencia de extensión entre las series —dos décadas para el cobre frente a pocos años para el litio— implica que la confiabilidad estadística no es homogénea entre metales. Frente a estas limitaciones, el simulador adopta un diseño deliberadamente flexible en el que todos los parámetros son ajustables por el analista, reconociendo que la proyección de precios de commodities requiere complementar la calibración estadística con fundamentos económicos y sectoriales, en línea con la prudencia que recomienda Rudenno (2012).

Bibliografía

1. Baker, M., & Wurgler, J. (2002). Market timing and capital structure. *The Journal of Finance*, 57(1), 1–32. <https://doi.org/10.1111/1540-6261.00414>
2. Damodaran, A. (2006). *Damodaran on valuation: Security analysis for investment and corporate finance* (2nd ed.). Wiley.
3. Damodaran, A. (2011). *El pequeño libro de la valoración de empresas: Cómo valorar una compañía, elegir una acción y obtener ganancias* (I. Moncada, Trad.). Deusto.
4. Damodaran, A. (2009). *Ups and downs: Valuing cyclical and commodity companies*. Stern School of Business, New York University.

5. Damodaran, A. (2010). *The dark side of valuation: Valuing young, distressed, and complex businesses* (2nd ed.). FT Press.
6. Dewi, V., & Savitri, D. A. M. (2025). Determinants of company value in mining firms: An empirical analysis. *Bima Journal: Business, Management and Accounting Journal*, 6(1), 219–230. <https://doi.org/10.37638/bima.6.1.219-230>
7. Dixit, A. K., & Pindyck, R. S. (1994). *Investment under uncertainty*. Princeton University Press.
8. Fundar. (2023). *Developing Argentina's mining potential: A relay race*. Fundar.
9. Hooke, J. C. (2010). *Security analysis and business valuation on Wall Street: A comprehensive guide to today's valuation methods* (2nd ed.). Wiley.
10. Hull, J. C. (2018). *Options, futures, and other derivatives* (9th ed., Global ed.). Pearson.
11. International Energy Agency. (2025). *Global critical minerals outlook 2025*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ef5e9b70-3374-4caa-ba9d-19c72253bfc4/GlobalCriticalMineralsOutlook2025.pdf>
12. Marín, A., Navas-Alemán, L., & Pérez, C. (2021). *Innovación y competitividad en cadenas de valor mineras: El caso de Argentina*. Banco Interamericano de Desarrollo.
13. Ministerio de Economía. (2026, 16 de enero). *Récord de exportaciones para la minería Argentina*. [Argentina.gob.ar](https://www.argentina.gob.ar). <https://www.argentina.gob.ar/noticias/record-de-exportaciones-para-la-mineria-argentina>
14. Murguía, D. I. (2021). *Potencial y oportunidades de la minería metalífera argentina en torno a encadenamientos productivos y estándares socioambientales: Los casos de las regiones de Cuyo, el Noroeste y la Patagonia*. *Cuyonomics. Investigaciones en Economía Regional*, 5(8), 63–89. <https://doi.org/10.48162/rev.42.035>
15. Myers, S. C., & Majluf, N. S. (1984). *Corporate financing and investment decisions when firms have information that investors do not have*. *Journal of Financial Economics*, 13(2), 187–221. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(84\)90023-0](https://doi.org/10.1016/0304-405X(84)90023-0)
16. Nangolo, C., & Musingwini, C. (2011). *Empirical correlation of mineral commodity prices with exchange-traded mining stock prices*. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 111(7), 459–468.
17. Paredes Gómez, A., Ángeles Castro, G., & Flores Ortega, M. (2016). *Determinants of leverage in mining companies, empirical evidence for Latin American countries*. *Contaduría y Administración*, 61(1), 26–40. <https://doi.org/10.1016/j.cya.2015.09.010>
18. Pereiro, L. E. (2002). *Valuation of companies in emerging markets: A practical approach*. John Wiley & Sons.
19. PwC. (2025, June 26). *Mine 2025: Concentrating on the future*. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/energy-utilities-resources/publications/mine.html>
20. Rudenno, V. (2012). *The mining valuation handbook: Mining and energy valuation for investors and management* (4th ed.). John Wiley & Sons Australia.
21. Santillán Salgado, R. J., Fonseca Ramírez, A., & Venegas Martínez, F. (2018). *Impacto de los precios de los metales en la estructura de capital de las empresas*

- minero-metalúrgicas en América Latina (2004–2014). Contaduría y Administración, 63(3), 1–22. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2018.837>*
22. Schwartz, E. S. (1997). *The stochastic behavior of commodity prices: Implications for valuation and hedging. The Journal of Finance, 52(3), 923–973.*
<https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1997.tb02721.x>
23. Secretaría de Minería. (2025). *El papel estratégico de la minería en la economía argentina: evolución del balance cambiario del sector (2003-2024).*
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/balance_cambiario_2025_0.pdf
24. Tilton, J. E., & Guzmán, J. I. (2016). *Mineral economics and policy.* Routledge.
25. Tsay, R. S. (2010). *Analysis of financial time series (3rd ed.).* John Wiley & Sons.

Anexos

Anexo I — Precios nominales de los metales (2006–2026)

La tabla siguiente presenta los precios promedio anuales nominales de los cuatro metales analizados, expresados en dólares corrientes sin ajuste por inflación, tal como se utilizaron para la calibración de los procesos estocásticos del simulador. Las series de oro, plata y cobre comprenden el período mayo 2006 – abril 2026; la serie de litio no dispone de cotización organizada en Bloomberg para años anteriores a julio de 2023, por lo que solo se presentan promedios anuales aproximados para 2023–2025. Los valores de litio indicados corresponden a estimaciones basadas en la serie diaria disponible (LJC1 Comdty). La decisión de trabajar con precios nominales responde a un criterio de consistencia con el resto del modelo, cuyas partidas de flujo de fondos y tasa de descuento se expresan igualmente en dólares corrientes.

Año	Oro (USD/oz)	Plata (USD/oz)	Cobre (USD/t)	Litio (USD/t)
2006	626.8	12.32	7421.9	—
2007	705.9	13.52	7232.0	—
2008	878.9	15.01	6869.5	—
2009	984.9	14.80	5336.8	—
2010	1237.8	20.74	7625.5	—
2011	1573.2	35.59	8816.0	—
2012	1676.3	31.38	8025.8	—
2013	1397.3	23.42	7291.0	—
2014	1252.2	18.62	6839.6	—
2015	1153.5	15.55	5444.3	—
2016	1249.5	17.14	4919.2	—
2017	1267.3	17.21	6271.8	—
2018	1265.8	15.64	6473.4	—

2019	1402.2	16.36	6044.2	—
2020	1777.8	20.68	6203.0	—
2021	1792.3	24.98	9408.0	—
2022	1795.7	21.58	8731.3	—
2023	1952.8	23.61	8477.0	~34.0
2024	2404.3	28.14	9172.9	~13.2
2025	3485.0	41.52	10081.1	~20.1
2026	4864.8	81.98	12996.1	—

Nota: precios en USD/oz para oro y plata; USD/tonelada métrica para cobre y litio. Fuente: Bloomberg (XAU BGN Curncy, XAG BGN Curncy, LOCADY LME Comdty, LJC1 Comdty). Promedios anuales calculados sobre datos mensuales para oro, plata y cobre; sobre datos diarios para litio (desde julio de 2023). Los valores de 2026 corresponden al promedio del período enero–abril 2026. (—) indica ausencia de serie disponible.

Anexo II — Revenue por empresa (FY 2017–2025, millones de USD)

La tabla siguiente presenta los ingresos anuales de las diez empresas de la muestra para el período FY 2017–2025. Los datos provienen de Bloomberg (campo SALES_REV_TURN) y se expresan en millones de dólares. La significativa diferencia de escala entre Glencore y el resto de las compañías refleja la naturaleza comercial de su modelo de negocio, que incluye ingresos de trading además de los ingresos mineros.

Empresa	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Vale	34.0	37.0	37.7	40.4	54.5	44.0	41.7	38.4	38.3
Barrick Gold	8.6	8.4	9.7	12.6	11.0	11.0	11.4	12.9	17.0
Newmont	7.7	7.3	8.8	9.7	12.2	11.9	11.8	18.7	22.7
Southern Copper	6.7	7.1	7.3	8.0	10.9	9.5	10.1	11.4	13.4
Glencore	205.5	220.2	215.1	142.3	203.8	256.0	257.0	210.7	247.6
Río Tinto	40.0	40.5	43.2	43.2	63.1	55.6	54.0	53.7	57.6
FCX	16.4	18.6	14.4	14.2	22.8	22.8	22.9	21.8	25.9
Pan American S.	0.8	0.8	1.1	1.1	1.4	1.4	2.3	2.8	3.6
Agnico Eagle	2.2	2.2	2.5	3.1	3.9	5.7	6.6	7.3	7.6
BHP	36.1	37.1	44.3	42.9	60.8	65.1	53.8	55.7	67.2

Nota: cifras en millones de USD. Fuente: Bloomberg (SALES_REV_TURN). FY = ejercicio fiscal; para BHP el cierre es el 30 de junio de cada año. Glencore incluye ingresos de trading, lo que explica su diferencia de escala frente al resto de la muestra.

Anexo III — CAPEX por empresa (FY 2017–2025, millones de USD)

La tabla siguiente presenta los gastos de capital anuales de las diez empresas de la muestra para el período FY 2017–2025. Los datos provienen de Bloomberg (campo CF_CAP_EXPEND_PRPTY_ADD) y se expresan en millones de dólares en valor absoluto.

Empresa	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Barrick Gold	1,396	1,400	1,701	2,054	2,435	3,049	3,086	3,174	3,821
Newmont	866	1,032	1,463	1,302	1,653	2,131	2,666	3,402	3,035
Pan American S.	142	144	206	179	243	275	379	323	314
Glencore	3,586	4,687	4,712	3,569	3,618	4,177	4,484	5,611	5,932
Río Tinto	4,482	5,430	5,488	6,189	7,384	6,750	7,086	9,621	12,335
Southern Copper	1,024	1,121	708	592	892	948	1,009	1,027	1,325
Vale	3,904	3,849	3,751	4,254	5,067	5,470	5,901	6,538	5,984
FCX	1,410	1,971	2,652	1,961	2,115	3,469	4,824	4,808	4,494
Agnico Eagle	874	1,089	883	759	1,083	1,538	1,654	1,818	2,418
BHP*	4,818	4,478	6,369	7,860	5,386	5,761	6,260	8,800	9,734

Nota: cifras en millones de USD en valor absoluto (el dato original de Bloomberg es negativo). Fuente: Bloomberg (CF_CAP_EXPEND_PRPTY_ADD). () BHP reporta en ejercicios semestrales (cierre 30 de junio): los valores anuales se obtienen sumando S2 del año anterior y S1 del año corriente, consistente con su FY julio–junio. (—) indica dato no disponible para ese período.*

Anexo IV — Correlaciones completas: precio vs. variación del revenue

La tabla siguiente presenta el conjunto completo de coeficientes de correlación de Pearson calculados sobre variaciones porcentuales anuales entre el precio del metal principal producido por cada empresa y la variación del revenue. Se incluyen todos los pares empresa-metal analizados, incluyendo aquellos con poder explicativo bajo que no figuran en el Cuadro 1 del cuerpo del trabajo. r_0 = correlación contemporánea (precio del año t vs. revenue del año t); r_1 = correlación con rezago de un año (precio del año t vs. revenue del año $t+1$). n indica el número de variaciones anuales disponibles.

Empresa	Metal	n	r_0	$R^2(0)$	r_1	$R^2(1)$	Interpretación
Southern Copper	Cobre	8	0,938	0,880	-0,442	0,195	Fuerte positiva
BHP	Cobre	6	0,935	0,874	-0,382	0,146	Fuerte positiva

Freeport	Cobre	8	0,931	0,867	-0,097	0,009	Fuerte positiva
Río Tinto	Cobre	7	0,902	0,814	-0,366	0,134	Fuerte positiva
Glencore	Zinc	8	0,891	0,793	0,141	0,020	Fuerte positiva
Vale	Cobre	7	0,888	0,789	-0,404	0,163	Fuerte positiva
Glencore	Carbón	8	0,803	0,645	-0,109	0,012	Fuerte positiva
Río Tinto	Aluminio	7	0,781	0,610	-0,316	0,100	Fuerte positiva
Glencore	Níquel	8	0,642	0,412	0,018	0,000	Moderada positiva
Southern Copper	Molibdeno	8	0,598	0,358	0,050	0,003	Moderada positiva
Glencore	Cobre	8	0,616	0,380	-0,034	0,001	Moderada positiva
FCX	Molibdeno	8	0,758	0,575	-0,026	0,001	Moderada positiva
FCX	Cobre	8	0,931	0,867	-0,097	0,009	Fuerte positiva
Vale	Hierro	7	0,705	0,497	0,547	0,299	Moderada positiva
Vale	Oro	7	-0,102	0,010	0,806	0,650	Moderada con rezago
Agnico Eagle	Plata	8	0,064	0,004	0,724	0,524	Moderada con rezago
Newmont	Oro	6	0,523	0,273	0,465	0,216	Moderada
Newmont	Plata	6	0,544	0,296	0,510	0,260	Moderada
Pan Am. Silver	Plata	8	-0,010	0,000	0,183	0,034	Sin relación
Barrick Gold	Oro	6	0,320	0,103	0,310	0,096	Sin relación

Nota: $r_0 = \Delta\%precio[t]$ vs. $\Delta\%revenue[t]$; $r_1 = \Delta\%precio[t]$ vs. $\Delta\%revenue[t+1]$. R^2 = coeficiente de determinación. Metodología: correlación de Pearson sobre variaciones porcentuales anuales (precios nominales). Fuente: elaboración propia en base a reportes anuales de las empresas y Bloomberg.

Anexo V — Correlaciones completas: precio vs. variación del CAPEX

La tabla siguiente presenta el conjunto completo de coeficientes de correlación entre la variación del precio del metal y la variación del CAPEX. Se incluyen todos los pares empresa-metal analizados. La metodología es idéntica a la del Anexo IV: correlaciones de Pearson sobre variaciones porcentuales anuales, con correlación contemporánea (r_0) y con rezago de un año (r_1).

Empresa	Metal	n	r_0	$R^2(0)$	r_1	$R^2(1)$	Interpretación
Barrick Gold	Oro	11	0,015	0,000	0,953	0,908	Fuerte (rezago)
Agnico Eagle	Oro	11	-0,161	0,026	0,932	0,869	Fuerte (rezago)
Newmont	Oro	9	-0,408	0,166	0,874	0,764	Fuerte (rezago)
Vale	Hierro	9	-0,024	0,001	0,701	0,491	Moderada (rezago)
FCX	Molibdeno	11	0,373	0,139	0,769	0,591	Moderada (rezago)
FCX	Cobre	11	-0,168	0,028	0,747	0,558	Moderada (rezago)

Glencore	Cobre	11	0,420	0,176	0,637	0,406	Moderada (rezago)
Southern Copper	Molibdeno	9	0,684	0,468	0,697	0,485	Moderada
Glencore	Níquel	11	0,499	0,249	0,572	0,327	Moderada
Río Tinto	Cobre	9	0,542	0,294	0,397	0,158	Moderada
Agnico Eagle	Cobre	11	0,572	0,328	0,344	0,118	Moderada
Southern Copper	Cobre	9	0,684	0,468	0,278	0,077	Moderada
Newmont	Plata	9	-0,595	0,354	0,192	0,037	Moderada
Vale	Níquel	9	0,087	0,008	0,085	0,007	Sin relación
BHP	Hierro	6	-0,274	0,075	0,143	0,020	Sin relación
Pan Am. Silver	Plata	11	0,019	0,000	0,119	0,014	Sin relación
Barrick Gold	Cobre	11	0,302	0,091	0,119	0,014	Sin relación
Glencore	Carbón	11	0,224	0,050	0,053	0,003	Sin relación

Nota: $r_0 = \Delta\%precio[t]$ vs. $\Delta\%CAPEX[t]$; $r_1 = \Delta\%precio[t]$ vs. $\Delta\%CAPEX[t+1]$. R^2 = coeficiente de determinación. Los valores reflejan la heterogeneidad entre empresas descrita en el cuerpo del trabajo. Fuente: elaboración propia en base a reportes anuales de las empresas y Bloomberg.

Anexo VI — Parámetros del CAPM híbrido ajustado: A_GE y R²

El simulador de valuación incorpora un CAPM híbrido ajustado que requiere la estimación de dos parámetros específicos para el contexto argentino: el ajuste de volatilidad relativa A_GE y el coeficiente de determinación R² entre el mercado accionario local y el spread soberano. Ambos se calculan de forma dinámica en el simulador mediante descarga automática de datos de Yahoo Finance y del BCRD. La tabla siguiente describe la construcción de cada parámetro, su fuente y el período utilizado en la estimación.

Parámetro	Descripción	Fuente y período
A_GE (ajuste de volatilidad relativa)	Cociente entre el desvío estándar semanal del Merval expresado en dólares y el desvío estándar semanal del S&P 500. Captura el mayor riesgo total del mercado argentino respecto del mercado de referencia global, reemplazando la beta de regresión del CAPM híbrido original de Pereiro (2002) cuando esta subestimaría el riesgo por baja correlación con el mercado global.	Merval en USD (YPFD.BA/YPF) y S&P 500 (^GSPC) obtenidos de Yahoo Finance. Frecuencia semanal. Período de estimación: abril 2020 – mayo 2026. El valor resultante se precarga en el simulador y puede ser modificado por el analista.

R ² (MERVAL en USD vs. ΔEMBI)	Coefficiente de determinación de la regresión entre los retornos semanales del Merval en dólares y la variación semanal del spread EMBI Argentina. Se utiliza el término (1 – R ²) en la fórmula del Ke para evitar la doble contabilización del riesgo país: cuanto mayor es la correlación del mercado accionario con el EMBI, menor es el ajuste por riesgo adicional.	Merval en USD: Yahoo Finance. EMBI Argentina: serie histórica del BCRD. Frecuencia semanal. Período de estimación: abril 2020 – mayo 2026. El valor resultante se precarga en el simulador y puede ser modificado por el analista.
--	---	--

Nota: el período de estimación se inicia en abril de 2020 para capturar un ciclo completo que incluye el shock de la pandemia, la recuperación y el posterior endurecimiento monetario global, evitando distorsiones asociadas a períodos previos de cepo cambiario estricto que hubieran suprimido artificialmente la volatilidad del Merval en dólares. Ambos parámetros, junto con el EMBI, el beta sectorial de Damodaran y el ERP global, se precargan en el simulador con los últimos valores disponibles al momento de la elaboración del trabajo y pueden ser modificados por el analista según su propio criterio o ante la disponibilidad de datos más recientes.

El Ke resultante del CAPM híbrido ajustado se construye según la siguiente formulación, desarrollada en el Marco Teórico:

$$Ke(t) = Rf(t) + EMBI + A_GE \times \beta_relevered \times ERPg \times (1 - R^2)$$

donde Rf(t) es la tasa libre de riesgo nominal interpolada para cada año mediante la curva Nelson-Siegel ajustada a los rendimientos del Tesoro de los Estados Unidos, EMBI es el spread soberano argentino en el momento de la valuación, β_relevered es el beta sectorial de Damodaran reapalancado según la estructura de capital objetivo, y ERPg es la prima de riesgo del mercado accionario global.

Anexo VII — Link de acceso al Simulador de Valuación Minera

Se adjunta el link para acceder a la aplicación: <https://stellar-praline-12b512.netlify.app/>