



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

VALORIZACIÓN DE LA OPCIÓN DE CIERRE TEMPORAL DE UNA MINA DE ORO, MEDIANTE OPCIONES REALES. APLICACIÓN DEL MODELO ORNSTEIN – UHLENBECK

Claudia Carrasco Montero

Piura, marzo de 2013

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

Programa Académico de Economía

Carrasco, C. (2013). *Valorización de la opción de cierre temporal de una mina de oro, mediante opciones reales. Aplicación del modelo Ornstein – Uhlenbeck*. Tesis de pregrado en Economía. Universidad de Piura. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Programa Académico de Economía y Finanzas. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

PROGRAMA ACADÉMICO DE ECONOMÍA



“Valorización de la opción de cierre temporal de una mina de oro, mediante opciones reales. Aplicación del modelo Ornstein – Uhlenbeck.”

Tesis:

Que presenta el Bachiller en Economía:

Claudia Marilia Carrasco Montero

Para optar el título:

Economista

Asesor: Dr. Álvaro Tresierra Tanaka

Piura, Marzo 2013

*A mis padres por todo su cariño y apoyo,
a mis queridos hermanos Carito y Miguel
al profesor Mgtr. Jorge Gallo, por su incondicional ayuda,
y a mi asesor Dr. Álvaro Tresierra, por su acertada orientación.*

ABSTRACT

The present investigation seeks to evaluate and to value the option of temporary closing of a golden mine, under conditions of uncertainty. It aims to structure a methodology that integrates real options applications with commodity pricing models based on stochastic processes. In addition, one seeks to develop a methodological scheme of support for the capture of decisions in the capital assignment for investors in projects, specifically in gold mining projects.

The model used for the empirical analysis is the Ornstein Uhlenbeck model, which incorporates both the process of mean reversion as Brownian motion. To this has taken historical price data for gold, monthly, during the period January 2000 to June 2012.

The analysis of the results, can prove that flexibility in decisions add value to opportunities for temporary closure when prices change under conditions of uncertainty. Finally, we show that real options analysis does provide a different view can be a support that in making investment decisions, in this case, gold mining projects.

Keywords: Uhnbeleck Ornstein, Brownian motion, mean reversion, gold mining, real options, gold.

INDICE

1. Introducción	7
2. Marco Teórico	11
2.1. Literatura revisada	12
2.2. Panorama Económico Mundial y Nacional	14
3. Minería en el Perú	20
3.1. Minería: un sector importante para la economía peruana	21
3.2. Importancia del oro	23
3.3. Extracción minera subterránea	29
4. Metodologías de valorización de proyectos	35
4.1. Flujos de Caja Descontados	36
4.2. Opciones Financieras	38
4.3. Opciones Reales	38
5. Estimación de ingresos y egresos	41
5.1. Estimación de ingresos	42
5.1.1. Modelos de precios de commodities	42
5.1.1.1. Proceso estocástico	43
5.1.1.2. Proceso de reversión a la media	46
5.1.1.3. Movimiento Browniano	48
5.1.1.4. Modelo Ornstein Uhlenbeck	49
5.2. Estimación de egresos	62
5.2.1. Compañía Minera Poderosa S.A.	63

5.2.2. Estimación de egresos	65
6. Resultados	68
6.1. Cálculo de la opción de cierre temporal	69
6.2. Resultados obtenidos	70
7. Conclusiones	72
8. Bibliografía	77
9. Anexos	82

RESUMEN

La presente investigación busca evaluar y valorizar la opción de cierre temporal de una mina de oro, bajo condiciones de incertidumbre. Se pretende estructurar una metodología que integre aplicaciones de opciones reales con modelos de precios de commodities basados en procesos estocásticos¹. Además, se busca desarrollar un esquema metodológico de apoyo para la toma de decisiones en la asignación de capital para inversionistas en proyectos, específicamente en proyectos mineros auríferos.

El modelo utilizado para el análisis empírico es el modelo Ornstein Uhlenbeck, el cual incorpora tanto el proceso de reversión a la media como el movimiento browniano. Para esto se ha tomado datos de precios históricos del oro, de forma mensual, durante el periodo de enero 2000 a junio 2012.

El análisis de los resultados, permite demostrar que la flexibilidad en las decisiones agrega valor a las oportunidades de cierre temporal, cuando los precios varían, bajo condiciones de incertidumbre. Finalmente, se demuestra que el análisis de opciones reales logra entregar una visión diferente que permite ser un apoyo en la toma de decisiones de inversión, en este caso, en proyectos mineros de oro.

Palabras Claves: Ornstein Uhnbeleck, movimiento browniano, reversión a la media, minería aurífera, opciones reales, oro.

¹ Modelos que se derivan de los modelos de precios de commodities desarrollados en las finanzas modernas.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El renovado interés por la valoración y selección de inversiones empresariales mostrado por las finanzas durante los últimos años responde al descontento de profesionales y académicos con los métodos convencionales de evaluación y al progresivo desarrollo de nuevas técnicas financieras, en especial de los relacionados con la valoración de activos contingentes¹.

Frente al clásico modelo del descuento de flujos ajustado por el riesgo, cuyo empleo y justificación, todavía hoy se manifiesta predominante, las nuevas propuestas de análisis de la inversión empresarial reflejan la influencia de la sustancial transformación recientemente experimentada por la teoría financiera.

Una de las características que mejor definen las inversiones de capital estriba en la incertidumbre de sus resultados. La variabilidad e impredecibilidad de la evolución futura de los factores determinantes de su rentabilidad justifican la calificación de “arriesgado” asignada a este tipo de activos.

Resulta difícil pensar en un proyecto de inversión que no incorpore la posibilidad de actuar de un modo u otro sobre su estado y, por tanto, sobre sus resultados. De hecho, parece complicado imaginar un proyecto de inversión que no incorpore la posibilidad de paralizar o modificar sus actividades en un momento determinado a lo largo de su vida económica, que anule la capacidad de su propietario para abandonarlo antes de su finalización, que no proporcione la posibilidad de ampliar o reducir su tamaño en una fecha posterior a la de su aceptación y, que además de su ejecución no se derive algún resultado, recurso o capacidad, que faculte o mejore el acceso de la empresa para la explotación de nuevas oportunidades.

¹ Un activo contingente es un activo de naturaleza posible, surgido a raíz de sucesos pasados, cuya existencia ha de ser confirmada sólo por la ocurrencia, o en su caso por la no ocurrencia, de uno o más eventos inciertos en el futuro, que no están enteramente bajo el control de la entidad.

Así, las inversiones en proyectos mineros son diferentes en comparación con las inversiones en otros proyectos. La mayoría de estas inversiones tienen en común tres factores, los mismos que los diferencian del resto. En primer lugar, la inversión es parcial o totalmente irreversible. Esto significa que la inversión de capital que se requiere para establecer la operación, y la inversión inicial no puede ser recuperada. En segundo lugar, existe una alta incertidumbre sobre los beneficios futuros de la inversión. Por último, el inversor tiene un margen de maniobra en lo que respecta a los plazos de la inversión. En realidad, la inversión en una mina no ocurre de inmediato, hay un retraso entre la decisión y la ejecución de un proyecto. Los proyectos mineros son complejos en diferentes aspectos, pero todos van hacia la misma dirección. Los gerentes de las empresas mineras tratan de evaluar la mina bajo incertidumbre, la misma que es inherente² a los proyectos mineros.

De este modo, el reconocimiento de la flexibilidad de las inversiones y de la capacidad de los mismos para generar nuevas oportunidades de inversión, constituyen el objeto de análisis de un nuevo modelo de valorización de inversiones actualmente conocido como el enfoque de opciones reales. El enfoque de opciones reales se caracteriza por incorporar en el análisis del valor de las inversiones empresariales, los beneficios derivados de su flexibilidad y de su potencial estratégico, junto con el ya clásico binomio financiero de rentabilidad – riesgo.

- **Planteamiento de los objetivos.**

La presente investigación tiene como objetivo principal desarrollar un análisis de toma de decisiones bajo incertidumbre a través de la aplicación de opciones reales en la evaluación de inversiones en proyectos mineros. Asimismo, estudiar el comportamiento de los precios del oro, para el caso específico del Perú a través de un modelo simple, basado en procesos de precios de commodities utilizando datos históricos del precio del oro.

² S. Shafiee, E. Topal, M. Nehring. Abril 2009. Real Option Valuation to Maximise Mining Project Value- A Case Study Using Century Mine. Working Paper.

- **Planteamiento de las hipótesis.**

1. Evaluar proyectos mediante el enfoque de opciones reales, permite valorizar, en su real magnitud, los beneficios económicos asociados a un proyecto de inversión, debido a que se tiene en cuenta el trinomio rentabilidad – riesgo – flexibilidad, donde el tercer componente de este trinomio es la que añade valor a la oportunidad de inversión.
2. La metodología de valorización de opciones reales, no sólo permite valorar los proyectos sino también estructurar el pensamiento estratégico.

- **Breve descripción de la metodología.**

El modelo utilizado para proyectar los precios, es el modelo Ornstein Uhlenbeck. Este modelo es un proceso estocástico, considerado como una modificación de un *paseo aleatorio* (random walk) en tiempo continuo o un proceso de Wiener, sin embargo las propiedades del proceso difieren, dado que existe una tendencia por la que el *paseo* (walk), se mueve hacia una posición central, con una mayor atracción cuando el proceso está lejos del centro, este proceso es denominado, proceso de reversión a la media.

2. MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Revisión de la literatura.

La literatura en el área de las opciones reales es relativamente reciente. Los orígenes de esta provienen de la teoría financiera de valoración de opciones, que se inició con el trabajo pionero de Black y Scholes (1973), Merton (1973), Cox y Ross (1976) y Cox, Ross y Rubinstein (1979). Como la teoría financiera de valoración de opciones se hizo ampliamente aceptada y entendida, la literatura de opciones reales se inició en su propio camino.

Así, por primera vez, en 1985, Brennan y Schwartz evaluaron un proyecto de recursos naturales a través del modelo de Black and Scholes y Merton (1973). Ellos sabían que los recursos naturales tienen un alto grado de incertidumbre en fijación de precios. La técnica fundamental en la teoría de opciones reales se basa en la teoría del arbitraje¹². Brennan y Schwartz evaluaron una mina considerando la opción de apertura, cierre y abandono de las operaciones. En primer lugar se resuelve el caso de una mina de reservas finitas, lo que da origen a una solución analítica, luego se analiza la concesión de una mina con reservas físicas conocidas, problema que se resuelve mediante diferencias finitas. En este artículo se consideran costos asociados a la apertura, cierre y mantención de la mina cerrada. El precio del activo de salida (cobre) se modela como una variable estocástica que sigue un proceso geométrico browniano, y la política óptima está dada por tres precios críticos. Por último, se incorpora la opción de diferir la inversión inicial, de manera de encontrar el momento óptimo de llevarlo a cabo.

McDonald y Siegel (1985) estudian la situación que enfrenta una empresa cuando debe decidir invertir en proyectos riesgosos. En este caso, se asume que la firma puede detener temporalmente

¹ Fernández Pablo (2008). *Valorización de opciones Reales: Dificultades, problemas y errores.*

² La lógica de la teoría de opciones se basa en el arbitraje: como es posible formar una cartera replica que tendrá idéntica rentabilidad a la opción que tratamos de valorar, entonces (para evitar el arbitraje), la opción ha de tener el mismo valor que la cartera replica. Si no se puede formar la cartera replica, el anterior razonamiento no tiene ningún sustento.

su producción si la variable estocástica que modela los costos excede las ventas. Los autores asumen que los individuos que manejan la empresa son adversos al riesgo.

Trigeorgis y Mason (1987), proporcionaron diversos ejemplos de valorización con opciones reales en diferentes tipos de proyectos. Así demostraron que las opciones de diferir, expandir o cerrar proyectos de recursos naturales dependen significativamente de las fluctuaciones de los precios de los commodities.

Berger, Ofek y Swary (1996) examinaron la opción de abandono de una empresa minera postulando que este tipo de opción añade valor a la empresa. Otras investigaciones aplicadas a la teoría de opciones reales en recursos naturales, minería, petróleo y gas (Kulatilaka y Marcus (1992), Laughton y Jacoby (1993), Mauer y Ott (1995), Palm y Pearson (1986)), concluyen que las opciones de aplazar, modificar, cambiar y cerrar los proyectos aumentan su valor.

Schwartz (1997), compara tres modelos de comportamiento estocástico de los precios de las materias primas, teniendo en cuenta la reversión a la media. El primer modelo plantea un proceso con reversión a la media del tipo Ornstein-Uhlenbeck para el logaritmo del precio spot. El segundo modelo tiene en cuenta un segundo factor estocástico, el *rendimiento de conveniencia*³ (convenience yield), que se supone también que sigue un proceso de reversión media. Por último, el tercer modelo también incluye las tasas de interés. El análisis revela una fuerte reversión a la media en los precios de los commodities.

Slade (2001) valoriza mediante opciones reales 21 proyectos mineros llevados a cabo en Canadá durante el periodo 1980-1993. Utilizando datos empíricos se estiman los parámetros relevantes de los procesos estocásticos que describen la evolución de: precios, costos, leyes, reservas, y tasas

³ El rendimiento por conveniencia, se define como el beneficio o la prima que se obtiene por poseer el bien físico subyacente, en vez de tener el contrato a futuro. A veces, debido a movimientos irregulares del mercado (caso específico de un mercado invertido), por ejemplo, a causa de relativa escasez y alta demanda, el poseer el bien puede ser más beneficioso que poseer el derivado. También se define como el confort proporcionado por tener el producto disponible físicamente y se puede representar como un dividendo implícito.

de producción. A continuación se realiza la comparación de los valores de estos proyectos considerando diversas hipótesis acerca de los procesos estocásticos considerados. La autora destaca la escasa adopción de la teoría de opciones como instrumento de valorización de proyectos mineros al interior de la industria canadiense.

Después de Brennan y Schwartz, Mardones (1993), utilizó la teoría de opciones financieras como una aplicación del *contingent claims analysis* (CCA), o *derivative asset valuation* (DAV) para obtener el valor agregado, a través de la flexibilidad, de un proyecto de Cobre en Chile. En 1996, Laughton dio a conocer el *Modern Asset Pricing* (MAP) u Option Pricing (OP), método utilizado para analizar la estructura financiera de empresas mineras. Estas técnicas permitieron realizar análisis más precisos del tiempo, incertidumbre, y estructura del proyecto. Hoy en día MAP u OP son conocidas como ROV (teoría de opciones reales) dentro de la literatura financiera.

2.2. PANORAMA ECONÓMICO MUNDIAL Y NACIONAL⁴

La evolución de la economía mundial se ha caracterizado por contar con ciclos de expansión y contracción de diferente magnitud, especialmente en las últimas décadas. Estos ciclos afectaron no solo a las principales economías del mundo sino que, a través de ellas, tuvieron repercusiones en las economías emergentes.

Si bien entre el 2001 y el 2011 el PBI mundial creció mostrando una tasa promedio de crecimiento de 3,8% anual, la década no estuvo exenta de episodios de fuerte contracción del producto. Específicamente, existieron dos grandes eventos: la crisis financiera de los Estados Unidos de América-EE.UU. (2008) y la crisis de deuda en Europa (2011).

La primera, conocida hoy como la crisis financiera internacional, tuvo su origen en un problema de morosidad de los créditos hipotecarios en el sistema financiero en EE.UU., producto de una

⁴ Memoria Anual 2011 SNMPE.

burbuja inmobiliaria que estalló a mediados del año 2008. Al ser EE.UU la principal economía del mundo, este problema se expandió y propagó a otros países, internacionalizando la crisis, lo que conllevó al debilitamiento del sistema financiero, la falta de liquidez y la consecuente limitación del crédito para empresas y personas. La crisis financiera tuvo efectos en el sector real de la economía, generando una fuerte contracción del crecimiento y, con ello, el incremento de la tasa de desempleo, caídas en los precios de muchos activos y variaciones en los tipos de cambio de las principales monedas internacionales.

A diferencia de la crisis iniciada en el 2008 en los Estados Unidos, la crisis de la deuda (2011) en Europa responde a los altos niveles de déficit fiscal en un conjunto de países europeos, del que Grecia fue el primer caso. Los mercados financieros consideraban que los niveles de deuda griegos (equivalentes al 160% de su PBI) representaban un riesgo de cese de pagos por parte del Gobierno, lo que se sumó a las menores opciones de financiamiento disponibles en el mercado mundial, llevando a Grecia a una situación insostenible que requirió un rescate financiero por parte de la Unión Europea. Ante este problema, los mercados empezaron a temer que otros países de la zona del euro enfrenten problemas semejantes y se ha puesto en tela de juicio la capacidad pagadora de países como Italia y España (con niveles de deuda de 120% y 67% sobre su PBI, respectivamente), entre otros. A la fecha, no se ha definido la alternativa que permita darles una salida a estos países, lo que ha generado un problema que pone en riesgo la estabilidad de la zona del euro.

Debido a los problemas antes mencionados, la incertidumbre respecto a la evolución de las economías desarrolladas es un tema de especial cuidado. El sector productivo no ha logrado reactivarse del todo y en algunos países europeos las condiciones económicas siguen empeorando. La crisis ha afectado las calificaciones internacionales de riesgo de los Estados Unidos y algunos países de la zona del euro, los mismos que han perdido en el 2011 su categoría de triple A. Asimismo, no se ha podido revertir la tasa de desempleo en los Estados Unidos, que se

mantiene cercana a los dos dígitos, mientras que países como España y Grecia cerraron el 2011 con tasas que bordean una desocupación del 20% de su población económicamente activa.

En este contexto, el desempeño de las economías en desarrollo ha sido positivo (con excepción del 2009, cuando la crisis financiera tuvo su pico más alto) y se estima que han culminado el 2011 con una tasa de crecimiento promedio de 6,4% (para el 2010 fue de 7,3%). Economías emergentes como Brasil, Rusia, India, China, México, Europa Central, algunos países de Latinoamérica y el resto de países de Asia y África, muestran en su mayoría tasas de crecimiento que superan el 4%, destacando los casos de China (+9,5%) e India (+7,5%).

Un elemento importante a considerar para los países en desarrollo es que muchos de ellos sustentan parte importante de su crecimiento en la relación comercial con los países desarrollados, los cuales son su principal mercado. Si las economías desarrolladas no se recuperan, se afectaría el nivel del comercio internacional en desmedro de las economías en desarrollo, haciendo que estas últimas tengan menores tasas de crecimiento del PBI en los próximos años. En paralelo, los países en desarrollo deben considerar las presiones inflacionarias que se observan a nivel mundial, pues los costos de la energía se mantienen elevados y la mayoría de los países desarrollados viene aplicando una política monetaria expansiva; además, deben prestar atención a la posibilidad de sobrecalentamiento de algunas economías en desarrollo.

Otro elemento a considerar es el de las cotizaciones internacionales de productos como los combustibles, minerales, alimentos, entre otros, en las cuales se observa un incremento desde el 2003, resultado de una mayor demanda de los países en desarrollo como China e India. No obstante, la crisis financiera internacional de mediados del 2008 frenó de manera abrupta dicho dinamismo, que recién en el 2010 empezó a mostrar signos de recuperación.

En el caso de los metales se espera que el nivel de precios se equilibre alrededor de los actuales valores, basado en la demanda de Asia. Si bien no hay una marcada presión a que las

cotizaciones disminuyan en el corto plazo, algunos analistas consideran que sobre todo China registraría una considerable reducción en su crecimiento, lo que afectaría drásticamente las cotizaciones mundiales.

En los últimos meses de 2011, los precios de los commodities tuvieron una corrección a la baja debido a la incertidumbre y a las menores perspectivas de crecimiento mundial. Asimismo, el Banco Central de China tomó medidas a lo largo del año para hacerle frente al incremento de la inflación, las cuales limitaron la demanda del mayor consumidor de metales del mundo. Los efectos de las políticas contractivas en China se sintieron sobre los precios de los metales, sobretudo de los metales básicos. Al mismo tiempo, las cotizaciones del oro y del cobre registraron precios record durante el 2011 y posteriores retrocesos desde esos niveles. A diferencia del cobre, el precio del oro sí logró un avance durante el 2011. El 6 de septiembre, el precio del oro logró un récord de 1,923.20 dólares la onza, impulsado por la compra del metal como refugio seguro ante la turbulencia de los mercados. El oro subió 11.6% con respecto al promedio del año 2010, acumulando diez años consecutivos de avance. De hecho, el precio del oro se vio perjudicado en diciembre por la caída en las importaciones indias (el mayor consumidor de oro al por menor del mundo), así como por la aparente mayor preferencia por dólares y efectivo como activo de refugio, después de que la volatilidad del precio del metal precioso durante el año alejó a algunos inversionistas. Los precios de los metales base cayeron durante el 2011. La caída anual más fuerte se vio en el precio del zinc que retrocedió -28.6% con respecto al 2010 y la menos intensa se dio en el cobre, el cual retrocedió -20.83%.

Como se puede ver, la incertidumbre respecto de la evolución de las economías desarrolladas viene generando inestabilidad en los mercados de los principales commodities. Si bien la demanda de China e India ha permitido sostener los niveles de las cotizaciones entre el 2009 y el 2010, las menores perspectivas de crecimiento en Europa y EE. UU parecen indicar que la inestabilidad de las cotizaciones se mantendrá a lo largo del 2012.

En este contexto, es importante recordar que las cotizaciones de los commodities son cíclicas y altamente sensibles a la evolución de los mercados y a los avances tecnológicos; de allí la importancia de aprovechar los ciclos de precios altos para poner en valor los recursos, ya que en otro escenario no sería factible desarrollarlos.

Respecto a la coyuntura nacional, son dos los aspectos a remarcar en el reciente crecimiento que ha logrado el país: la diversificación productiva y la descentralización. Respecto del primer aspecto, los sectores productivos que mostraron ser los más dinámicos son los de construcción (+148%), comercio (+80%) y manufactura (+74%), todos ellos asociados al crecimiento de la demanda interna. En paralelo, crecieron los sectores mineros e hidrocarburos, cuya evolución se relaciona con la mayor demanda externa por estos productos de parte de economías como la China e India, que muestran un dinamismo elevado. Al mismo tiempo de tener una actividad productiva más diversificada, la evolución se ha dado de forma descentralizada.

Además, de estas dos características fundamentales, el proceso de crecimiento se ha sustentado en factores clave como la mejora de la productividad de la economía, los mayores volúmenes de inversión (en especial por el sector privado), la inflación controlada, el crecimiento de la demanda externa y la consolidación de la demanda interna. De acuerdo al Ministerio de Economía y Finanzas, del 5,7% de crecimiento anual registrado en el decenio 2001-2010, el 2,8% es explicado por el incremento de la productividad logrado en la economía. Cabe señalar que este aumento de productividad es ampliamente superior a cualquiera registrado desde los años cincuenta, siendo una muestra del mejor uso de los factores productivos (activos), debido al entorno de mercado favorable como al efecto generado por las mejoras tecnológicas implementadas en años recientes.

Sin embargo, el factor fundamental que ha contribuido al crecimiento económico es la inversión, la cual da cuenta del 2,2% del crecimiento de la década, en tanto existe una estrecha relación entre la inversión y la dinámica de la economía nacional, siendo uno de los principales determinantes de su desempeño.

Otro factor a considerar en el crecimiento es la demanda, tanto externa como interna. Es innegable que una parte del crecimiento nacional tiene su origen en la demanda de los mercados internacionales. Al respecto, la demanda por metales (en especial de China e India) se ha incrementado, razón por la que las exportaciones mineras han mostrado una evolución positiva, reafirmando su importancia para el país, ya que representan más del 60% del total de las exportaciones totales. No obstante, debe destacarse que el crecimiento del volumen de las exportaciones de productos no tradicionales (entre ellas los productos agroindustriales, tejidos, hilados, prendas, manufacturas, conservas, etc.) ha sido mucho mayor y que su valor ha pasado de US\$ 2182 millones en el 2001 a US\$ 7642 millones en el 2010, lo cual es una muestra de la creciente diversificación de oferta exportadora del país.

En paralelo, la demanda interna ha venido ganando espacio y juega un rol clave en la dinámica de crecimiento observada en el período reciente; tal es así que ha mostrado tasas de crecimiento incluso superiores al crecimiento del PBI. En los últimos diez años, la demanda interna creció a una tasa promedio de 6%, y en los últimos cinco años a tasas superiores al 8%. Estos niveles de crecimiento pueden ser explicados tanto por el incremento del consumo privado, sustentado en un fuerte aumento en la cantidad y calidad de empleo, y en importantes mejoras en el ingreso, tanto por trabajo como por la inversión privada y pública.

Sin duda, estamos frente a una nueva economía, muy distinta a la de solo hace diez años atrás. Contamos con indicadores económicos en positivo, actividad productiva sólida y en crecimiento, una moneda estable, además de nuevas oportunidades comerciales en el mercado interno y externo.

3. MINERÍA EN EL PERÚ

3. MINERIA EN EL PERU

3.1. MINERÍA: UN SECTOR IMPORTANTE PARA LA ECONOMÍA PERUANA.

La minería juega un papel importante en la economía peruana a través de la generación de valor agregado, divisas, impuestos, inversión y empleo. A nivel departamental, la importancia de la minería se hace evidente por su participación en la actividad económica, la transferencia de canon minero y la promoción de recursos para el desarrollo a través del aporte directo de los mismos. A nivel nacional, en un contexto de altos precios internacionales de los minerales, la minería ha experimentado un importante dinamismo que se reflejó en la provisión de divisas a la economía, la generación de ingresos fiscales por impuestos y regalías mineras, la creación de empleos directos e indirectos y el incremento del crecimiento potencial de la economía.

La minería es el principal sector exportador del país, ya que explica el 59% de las exportaciones totales. Es el principal pagador de impuestos, con más de 15% del total de recursos tributarios recaudados y 30% del impuesto de la renta corporativa y representa más del 21% de la inversión privada en 2011. En aquellos departamentos donde la minería es preponderante, es el principal financiador de los presupuestos locales a través del canon y las regalías. La minería ha adquirido relevancia para explicar la evolución de la inversión nacional, situación que será más clara dadas las perspectivas de proyectos mineros de clase mundial. Si bien, la producción minera se ha estancado en años recientes, en los próximos años se espera la entrada de grandes proyectos que incrementará el valor agregado del sector que tendrá impactos beneficiosos en la economía.

Tenemos que:

- La minería es el principal sector exportador: La minería peruana exporta US\$27,361 millones y representa 59% de las exportaciones totales en 2011.

- La minería a triplicado su importancia a 14.5% del PBI: Nuevos estimados de la estructura económica del Perú para 2007 indican que el peso de la minería asciende a 14.5% del PBI (tres veces el estimado en 1994). En la economía de los departamentos (sin Lima), la participación de la minería sube hasta 28% del PBI.
- Principal contribuyente con más de 30% de renta de empresas: Gracias a la minería el Estado Peruano logró recaudar S/. 12,880 millones es decir 15% de los ingresos corrientes recaudados, en 2011. Esto representa 5 veces el presupuesto conjunto asociado a los principales programas sociales en 2012 (Pronaa, Cuna Más, Foncodes y Juntos) y 1 vez el presupuesto agregado en 2012 de los principales sectores sociales (educación, salud, trabajo, y promoción del empleo, salud y vivienda). Además, es el principal pagador de impuesto a la Renta de Tercera Categoría con más de 30% del total.
- Principal financiador de presupuestos en departamentos mineros: Las transferencias por canon y regalías mineras a los Gobiernos Locales y Regionales ascendieron a S/. 5,081 millones que financiaron 11% de sus presupuestos, en 2011. En los departamentos mineros, esta participación sube por encima del 20%.
- Ha permitido financiar a expansión reciente de inversión pública: la inversión pública se incrementó de 2.9% del PBI entre 2000 y 2005 a 4.4% entre 2006 y 2011. Esta fuerte expansión se debe principalmente a que la contribución de los tributos mineros pasaron de 0.6% del PBI a 2.5%.
- La minería es uno de los sectores económicos que más invierte. Las empresas mineras invirtieron US\$ 7,200 millones lo que representó 21% de la inversión privada total, en 2011. En los próximos 10 años, el monto de inversiones en proyectos mineros asciende a US\$ 43,000 millones, que de efectuarse elevarán el crecimiento potencial de la economía.
- La minería involucra a más de 820 mil trabajadores directos e indirectos. En 2011, hubieron más de 820 mil trabajadores relacionados directa e indirectamente a la minería: 177 mil empleos directos y 650 mil empleos indirectos de otros sectores.

- La entrada de un gran proyecto genera impactos importantes. La entrada en operación de un solo proyecto de tamaño importante generaría un incremento en el PBI minero de 15%, una expansión del PBI total en 2.1% y el Estado recaudaría S/. 9,000 millones más en ingresos tributarios. Este modelo representa 1 vez el presupuesto de Educación, 1.5 veces el presupuesto de Defensa y 1.7 veces el presupuesto de Salud.
- El ingreso de las personas en los distritos mineros sería poco más de 50% más alto que en los distritos no mineros. Esto ocurre básicamente por la dinamización en los mercados laborales en estas localidades. Este resultado ha tenido efectos concretos en reducción de los niveles de pobreza y pobreza extrema de casi 9 puntos porcentuales, en el mejor de los casos.

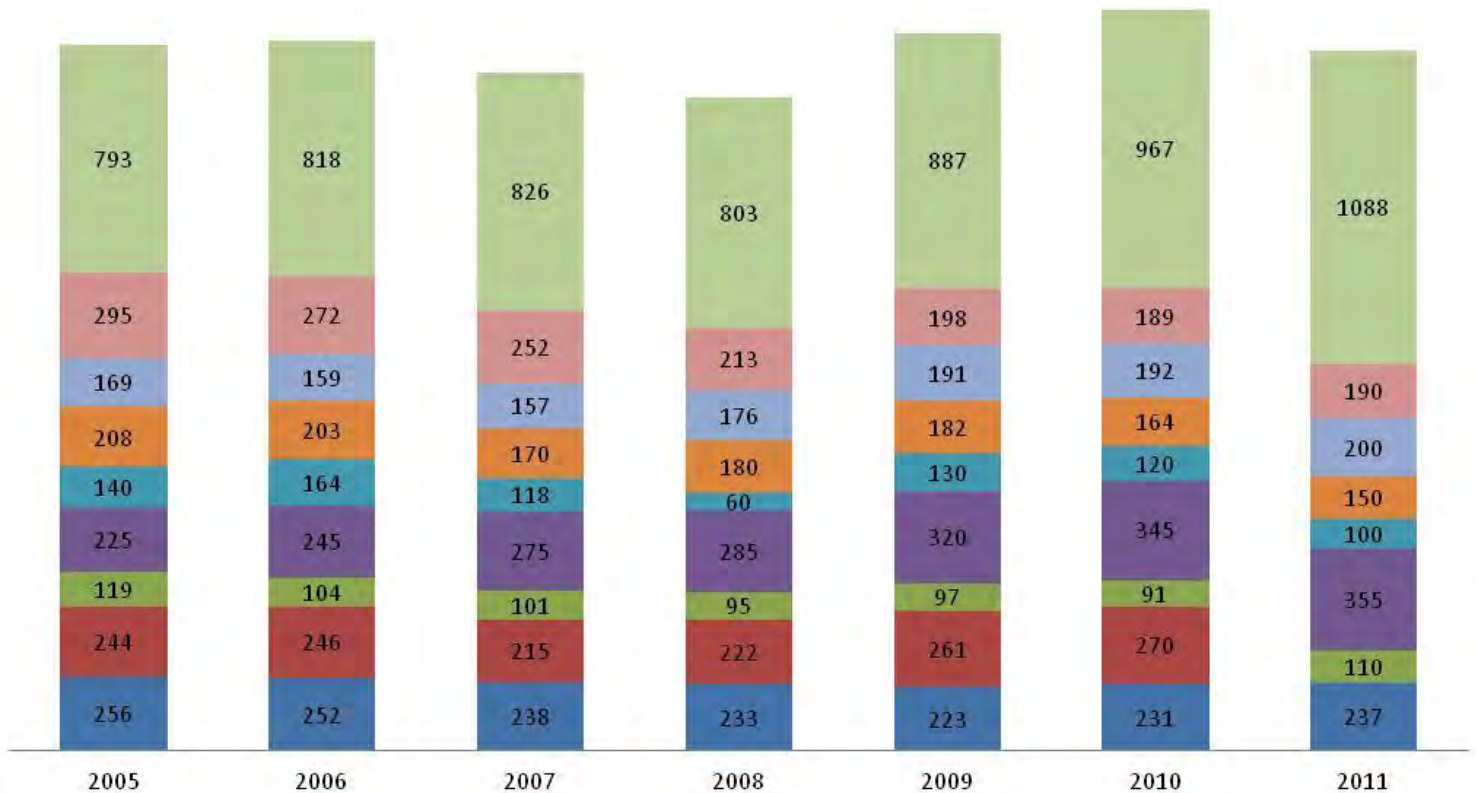
3.2. IMPORTANCIA DEL ORO

El oro es un metal precioso que ha tenido gran importancia desde tiempos antiguos. Su belleza y su valor lo han hecho deseable en todas las culturas. En Perú la producción del oro ha adquirido gran importancia, los principales yacimientos se encuentran en los estados de Cajamarca, La Libertad, Arequipa y Apurímac.

La producción minera mundial de oro se estima en 2,700 TM, el volumen de producción mundial es estable. Perú es el quinto productor de oro, tal como lo muestra el grafico N°01.

GRAFICO N°01: Producción Mundial por países (TM)

■ Estados Unidos ■ Australia ■ Canadá ■ China ■ Indonesia ■ Perú ■ Rusia ■ Sudáfrica ■ Otros países



Fuente: USGS Minerals Information
Elaboración propia.

La producción de este metal, para el Perú, aumento 13.21¹% a Enero 2012, comparado con lo producido a Enero 2011. Además, el valor de la onza de oro ha ido en aumento, hasta lograr un máximo valor, promedio, de \$1574.9² dl/oz, durante el año 2011.

El aumento de la producción, respecto al año anterior, se explica, principalmente, por el mayor volumen producido por Minera Barrick Misquichilca y Minera Yanacocha que incrementaron su producción en 52.4%

¹ Fuente: Boletín Estadístico Mensual SNMPE

² Fuente: Banco Central de Reserva del Perú.

y 9.6%, respectivamente. Por el contrario, Compañía de Minas Buenaventura presentó una reducción de 15.8% en su producción.

En diciembre del 2011, Minera Yanacocha (Cajamarca) continuo liderando la producción de oro con el 24.7% del total, seguida por Minera Barrick Misquichilca (Ancash-La Libertad) con el 15.0%. en tercer lugar tenemos a Cía. De Minas Buenaventura (Arequipa-Huancavelica-Lima) con el 6.7%, seguida por consorcio Minero Horizonte (La Libertad), y Aruntami (Moquegua) con el 4.6% y 4.4%, respectivamente.

Asimismo para el año 2011, el Perú obtuvo el séptimo lugar en reservas de oro a nivel mundial, tal cual lo muestra el Grafico N°02, mientras que el Grafico N°03, muestra las reservas de oro a nivel de Bancos Centrales.



Fuente: USGS Minerals Information
Elaboración propia.



Fuente: Estadísticas BCRP
Elaboración Propia

Respecto a las exportaciones mineras estas representan el 59.1% de las exportaciones totales, del cual el 36.9% representa las exportaciones de oro a las diferentes economías mundiales. Como lo muestra el gráfico N°04, las exportaciones han ido en aumento, durante los últimos 9 años.

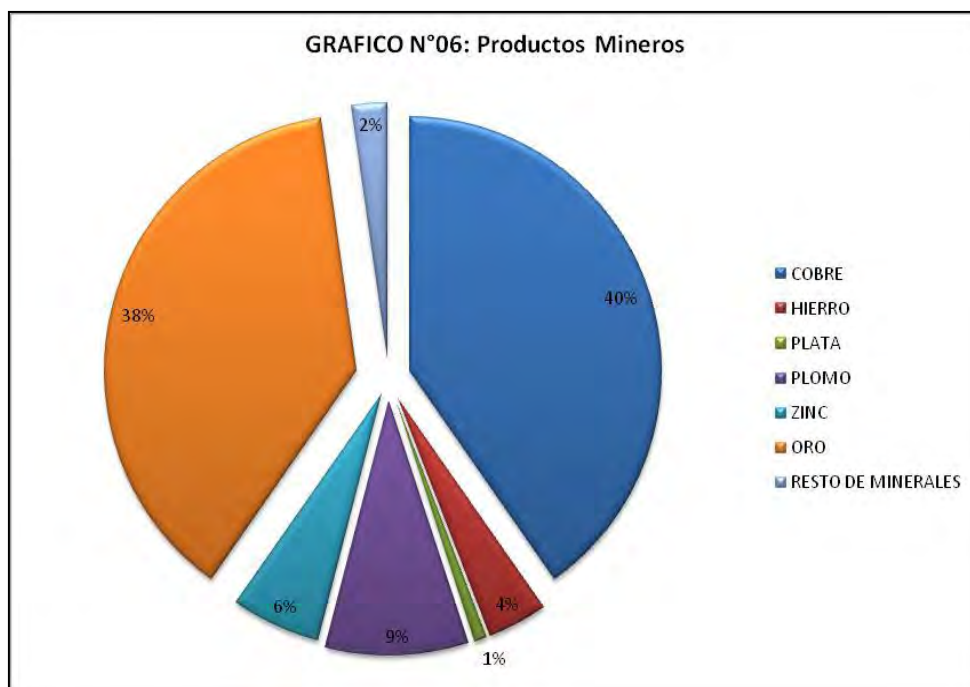


Fuente: Estadísticas BCRP
Elaboración Propia



Fuente: Estadísticas BCRP
Elaboración Propia

Así el oro es el segundo metal de mayor exportación, precedido por el cobre, el cual durante el 2011 represento el 38% de las exportaciones mineras; siendo su principal destino Suiza.



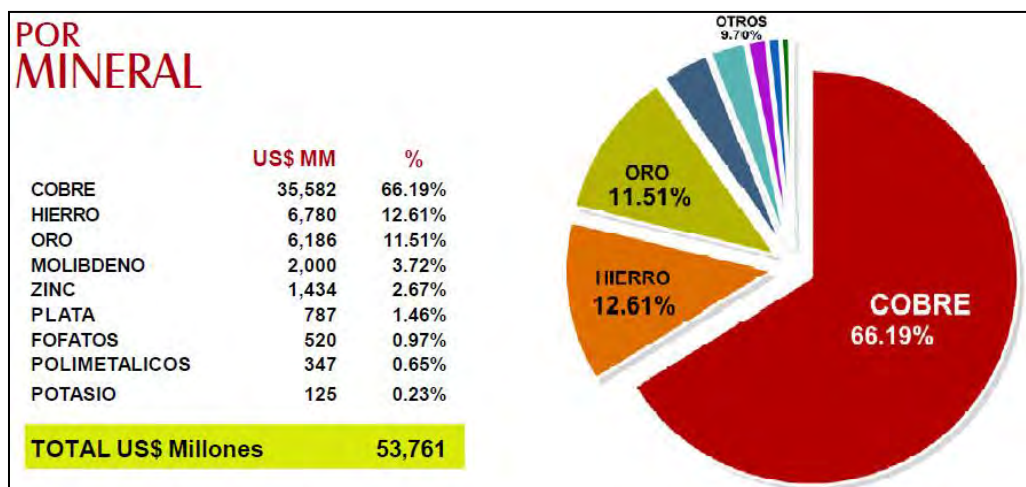
Fuente: Estadísticas BCRP
Elaboración Propia

El aumento en el nivel de precios internacionales y la expansión de la demanda internacional por materias primas industriales; son dos factores que explican la tasa creciente en las exportaciones del oro. Este proceso, además se ha visto acompañado con la puesta en marcha de importantes yacimientos mineros que han tendido a dinamizar los niveles de exploración y extracción del mineral.

Al respecto cabe precisar que los términos de intercambio comercial de Perú han subido más de 50% como resultado del auge de los precios de las materias primas en la última década. Una caída considerable en dichos precios podría afectar al país a través de los canales fiscal, externo y de inversión. Los ingresos de los sectores mineros y de gas contribuyeron con casi 30% de los ingresos del gobierno central del Perú. Las exportaciones de minería y gas natural representan casi el 60% de las exportaciones totales. Además, la inversión extranjera directa, que respalda las perspectivas de crecimiento está muy sesgada hacia el sector minero.

Además, la cartera estimada de inversión en minería se encuentra compuesta por 47 principales proyectos, los cuales incluyen proyectos de exploración así como proyectos de ampliación, que en conjunto ascienden a US\$ 53,761 millones; de los cuales 11 proyectos están destinados a la ampliación y exploración de minerías auríferas. Así la inversión en proyectos mineros auríferos, asciende a US\$ 6,186 millones, es decir el 11.51% de las inversiones totales.

GRÁFICO 7: INVERSIÓN MINERA POR MINERAL.



Fuente: Cartera Estimada de Proyectos 2012.

De esta manera podemos concluir que el oro es de gran importancia dentro de la minería peruana y por ende tiene un gran impacto en la Economía Nacional.

3.3. EXTRACCIÓN MINERÍA SUBTERRÁNEA³

El método de explotación subterránea, es utilizado cuando las zonas mineralizadas (vetas o cuerpos de mineral económico) son angostas y profundas, por lo que según las evaluaciones técnicas y económicas justifica la perforación de túneles y socavones para posibilitar su extracción.

Las actividades o procesos que comprende este método de explotación son: exploración; desarrollo; preparación; explotación y extracción; transporte y manipuleo de minerales.

- **EXPLORACIÓN:** Actividad minera tendiente a demostrar las dimensiones, posición, características mineralógicas, reservas y valores de los yacimientos mineros.
- **DESARROLLO:** Localizados los bloques de mineral, se realizan labores mineras para determinar el tonelaje y las leyes del mismo, es decir, clasificar en MENA⁴, mineral marginal y submarginal; se construyen los accesos e instalaciones que hagan posible la explotación. En esta actividad se desarrollan las galerías, los cruceros, chimeneas de ventilación, rampas y conductos de ventilación, instalación de rieles para carros mineros e instalación de líneas de energía.
- **PREPARACIÓN:** Corresponde a esta actividad, la preparación de las zonas o secciones de trabajo en la veta o bloques de mineral, para hacer posible su explotación generalmente se preparan tolvas, chimeneas de relleno y ventilación, entre otras labores.
- **EXPLOTACIÓN Y EXTRACCIÓN:** En esta etapa se realizan la perforación y voladuras del mineral en el interior de la mina, dejando expedito el mineral para su traslado al exterior.

³ Fuente: Manual de Minería; Estudios Mineros del Perú S.A.C.

⁴ Se denomina así a toda acumulación de mineral con contenido valioso recuperable por algún proceso metalúrgico.

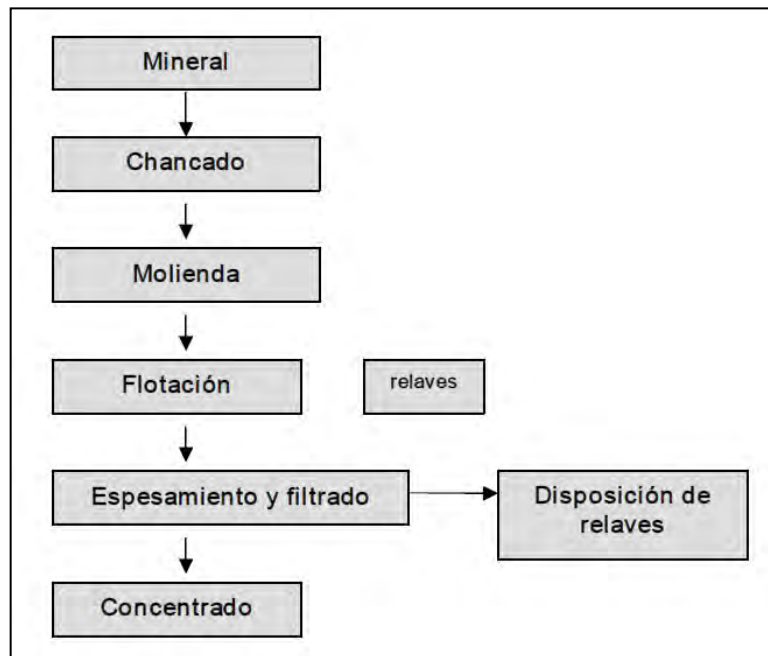
- **TRANSPORTE Y/O MANIPULO DE MINERALES:** Efectuada la voladura del mineral, este es extraído de la mina hacia el exterior, para ello, se acumula y se carga a los diferentes medios de transporte de los que se disponen. El transporte puede ser mediante carros mineros, scoops, u otro tipo de equipo que se disponga.

El proceso de obtención de oro a partir de minerales puede ser efectuado por alguno de los siguientes procesos:

A. Concentración

Es un proceso de enriquecimiento de algunos minerales (sulfuros de cobre, plomo o zinc con contenidos de oro y plata), en el cual el mineral es separado debido a procesos de reducción de tamaño (chancado y molienda), concentrando por un lado las partes de contenido útil, en tanto que el material sin valor (relave) es descartado. El objetivo es producir un material concentrado enriquecido de tonelaje reducido, con lo cual se ahorra el costo de transporte a la planta metalúrgica y se reduce el costo de tratamiento de ésta. Los procesos que integran la concentración son los de recepción de materiales, chancado, molienda, flotación y secado de concentrados.

GRAFICO N°08: Procesos Implicados en la Concentración



Fuente: Manual de Minería. Sociedad Nacional de minería, petróleo y energía.

1. Recepción de minerales: El mineral extraído de la mina es recibido en una cancha o patio, acondicionados para la clasificación del mineral, que luego pasara al proceso de chancado y los bloques de mineral demasiados grandes, previamente serán tratados para reducir sus dimensiones para pasar a la chancadora primaria.
2. Chancado: El mineral clasificado es llevado a la chancadora primaria en donde se produce el primer proceso de chancado reduciendo el tamaño del mineral a dimensiones determinadas, de allí pasa a la chancadora secundaria en donde el mineral se reduce a diámetros menores, pasando inmediatamente a la chancadora terciaria, en donde el mineral chancado, queda reducido y listo para pasar al proceso de molienda.
3. Molienda: En este proceso el mineral chancado mezclado con agua es procesado en recipientes cilíndricos denominados molinos de bolas y/o barras; convertido en polvo, pasa a la clasificadora, en donde la mezcla que tiene consistencia muy fina también denominada finos, ingresan a las celdas de flotación, a su vez los gruesos retornan al molino para ser nuevamente molidos.
4. Flotación: El mineral molido, mezclado con agua, cal y reactivos, mediante un sistema de bombeo por tubos, pasa de la clasificadora a las celdas de flotación. En estas celdas un agitador de paletas revuelve la pula, a la vez que una corriente de aire que sale de la parte inferior de la celda, forma una especie de burbujas que sale a la superficie llevando consigo partículas de sulfuros de mineral, formando una espuma o nata que rebasa las celdas de flotación, la que es recogida para ser espesada o sedimentada y filtrada para obtener el concentrado final. Cuando se procesan dos o más tipos de concentrados, el proceso de flotación pasa por tantos procesos como tipos de concentrados se deseen obtener.
5. Espesamiento, filtrado, secado y manipuleo de concentrados: La “nata” resultante del proceso de flotación es recogida a través de canaletas y conducida mediante agua a los tanques espesadores, de donde se traslada al proceso de filtrado y secado.

6. Desagüe, disposición de relaves y recuperación de agua: El material que se descarta de las celdas de flotación se denomina relave y esto se conduce según sea el caso a la planta de recuperación de agua o directamente a lugares de almacenamiento acondicionados especialmente para tal fin. Cuando la planta de concentración está ubicada en lugares donde hay escasez de agua, suele haber una planta de recuperación de agua.
7. Disposición de relaves: Los desechos (relaves), tanto del proceso de flotación como de la planta de recuperación de agua, son trasladados a canchas de relaves en donde se almacenan bajo condiciones establecidas de acuerdo con las disposiciones sobre el control ambiental.

B. Lixiviación⁵:

En minería el término lixiviación se define como un proceso hidrometalúrgico. Esto significa que, con la ayuda del agua como medio de transporte, se usan químicos específicos para separar los minerales valiosos (y solubles en dichos líquidos) de los no valiosos.

Este proceso permite trabajar yacimientos que suelen ser calificados de baja ley (y por tanto de más alto costo de producción por tonelada) siempre que la operación minera involucre una actividad a gran escala. Es decir, que la lixiviación es un proceso de recuperación que hará económico un proyecto conforme se trabajen mayores volúmenes de material.

El proceso de lixiviación requiere de la preparación adecuada y responsable del área donde se va a realizar la acción de lixiviar. Para ello, los trabajos de acondicionamiento velan por no generar impactos negativos al ambiente y al mismo tiempo lograr que el proceso sea eficiente. Entre los trabajos que se realizan, cabe mencionar los estudios previos de suelo, agua y aire, que brindan información valiosa para el diseño y seguimiento del proceso. Las áreas de terreno dedicadas a este proceso son lugares amplios y llanos sobre

⁵ Informe Quincenal de la SNMPE : “Lixiviación”

la que se coloca una membrana impermeable (conocida como geomembrana) que aislará el suelo de todo el proceso químico que se ejecutará arriba.

Además, en toda el área se acondiciona:

- Un sistema de cañerías distribuidas homogéneamente que se utilizan para transportar y rociar la sustancia lixiviante sobre el mineral.
- Un sistema de tuberías (sistema de drenaje) especiales que recogen las soluciones que se irán filtrando a través del material apilado durante el proceso.

Breve descripción del proceso:

1. La preparación del material: El material extraído de un yacimiento para su lixiviación inicia su camino de preparación con su fragmentación (chancado y molienda), con el objeto de que el proceso de separación del mineral valioso sea más eficiente y rápido.
2. El transporte de material a la zona de lixiviación: Luego del chancado y molienda, el material debe ser llevado al área de lixiviación, para esto se utilizan volquetes gigantes, aunque en algunos casos se realiza este trabajo mediante fajas transportadoras.
3. Formando pilas: Para el adecuado proceso, es necesario que el material molido sea acumulado sobre la membrana impermeable en montículos (pilas) de varias toneladas, formando columnas de ellos de manera ordenada.
4. Bañado o Riego: Una vez completadas las pilas de acuerdo a la capacidad de la membrana, se aplica en repetidas oportunidades y lentamente, a modo de riego por goteo o aspersores, una solución especial sobre la superficie del material. La solución es el cianuro para el caso específico del oro. La solución líquida tiene la propiedad de disolver el oro y de esa manera fluir con el líquido

hacia el sistema de drenaje. Estos líquidos son transportados mediante las tuberías instaladas hacia una poza.

5. Almacenaje y recuperación: Como se dijo líneas arriba, la sustancia obtenida del proceso de riego es transportada hacia pozas construidas y acondicionadas para almacenarlas en tanto se programe su ingreso a la siguiente etapa del proceso (recuperación y concentración). Cabe indicar que al igual que se recupera mineral valioso de la sustancia obtenida, se recupera también el agua involucrada en ella, la misma que se reutiliza en los siguientes procesos de lixiviación, buscando hacer un uso más eficiente de este recursos. De igual forma, el área donde se realiza la lixiviación, es recuperada luego de unos años de uso. Así se procede a restituir la vegetación propia de la zona, cuidando y monitoreando su desempeño.

4. METODOLOGÍAS DE VALORIZACION DE PROYECTOS

4. METODOLOGÍAS DE VALORACIÓN DE PROYECTOS¹.

4.1. Flujo de Caja Descontado.

El análisis del flujo de caja descontado es relativamente simple ya que predice una corriente de flujos de fondos, que entran y salen durante la vida probable de un proyecto y luego los descuenta a una tasa determinada – habitualmente el costo promedio ponderado de capital (WACC, por sus siglas en inglés) – que refleja tanto el valor del dinero en términos de tiempo como el grado de riesgo de esos flujos de fondos. El valor temporal del dinero indica que el dinero que se tenga en el futuro vale menos que el dinero que se tiene hoy, porque a diferencia del dinero futuro, el que se tiene en mano puede ser invertido para que genere intereses. El elemento crucial de cualquier cálculo DFC es el valor presente neto (VPN); es decir, el valor actual de los ingresos de efectivo menos el valor actual de los egresos de efectivo, o inversiones. Un VPN negativo indica que el proyecto, como está planificado, destruye valor.

El análisis DFC proporciona criterios de decisión sistemáticos y claros para todos los proyectos. No obstante también presenta sus limitaciones.

- El análisis DFC es estático. Supone que un plan de proyecto está congelado y permanece inalterado y que la dirección es pasiva y se ciñe al plan original, independientemente de que se modifiquen las circunstancias. Sin embargo, la tendencia de los directivos de la empresa es modificar los planes a medida que cambian las circunstancias y se resuelven las incertidumbres. Las intervenciones de la dirección empresarial tienden a agregar valor al valor calculado por el análisis DFC.

¹ Fuente: Bailey, W., Bhandari, A., Faiz, S., Srinivasan, S. and Weeds, H, 2004. “Valoración de las Opciones Reales”, Oilfield Review.

- El análisis DFC asume que los flujos de fondos futuros son predecibles y determinísticos. En la práctica, suele ser difícil calcular los flujos de fondos y el método DFC a menudo sobrevalúa o subvalúa ciertos tipos de proyectos.
- La mayoría de los análisis DFC utilizan un factor de descuento WACC. Pero en lugar de un factor WACC, las compañías suelen emplear una tasa crítica de rentabilidad para toda la empresa, que quizás no es representativa de los riesgos reales implícitos en un proyecto.

Las dos primeras limitaciones se relacionan con el cambio de circunstancia acaecido después de iniciado un proyecto. Se puede realizar un nuevo análisis DFC para reflejar las nuevas circunstancias, pero quizás sea tarde para incidir en las decisiones básicas del proyecto porque el mismo ya se encuentra en ejecución. La tercera limitación, mencionada precedentemente, proviene del hecho de que las compañías adoptan tasas críticas de rentabilidad para toda la empresa a fin de que exista consistencia, en vez de volver a calcular cuidadosamente un costo WACC para cada proyecto.

Un análisis de sensibilidad puede mejorar la información provista por el análisis DFC. Se evalúan las consecuencias de los posibles cambios de variables clave; por ejemplo, tasas de interés, flujos de fondos y secuencia cronológica; a fin de determinar los resultados de diversos escenarios tipo “que sucede si”. No obstante, la selección de las variables a modificar y el alcance de las modificaciones constituyen una cuestión subjetiva. El análisis plantea supuestos de futuras contingencias, en lugar de incorporar estas contingencias a medida que ocurren.

A diferencia del método DCF, la técnica ROV asume que el mundo se caracteriza por el cambio, la incertidumbre y las interacciones competitivas entre las compañías. También asume que los directivos de las compañías tienen la flexibilidad para adaptar y revisar las decisiones futuras en respuesta a las circunstancias cambiantes. La incertidumbre se convierte en otro componente del problema a manejar. El futuro es considerado lleno de alternativas y opciones, que pueden agregar valor en sendos casos.

La palabra *opción* implica valor agregado. Cuando hablamos de mantener abiertas nuestras opciones, tener más de una opción, o no excluir nuestras opciones, la implicancia subyacente es que el simple hecho de poseer la opción en general tiene valor, independientemente de que se la ejerza o no. Lo mismo es aplicable a las opciones reales.

4.2. Opciones Financieras.

El análisis de las opciones reales se inspira básicamente en la teoría de opciones financieras. Las opciones financieras son derivadas; derivan su valor de otros activos subyacentes, tales como las acciones de una empresa. Una opción financiera es el derecho, pero no la obligación, de comprar o vender un activo en una fecha determinada (o a veces antes), a un precio preestablecido. El precio al cual se puede comprar o vender una acción, si el tomador de opciones opta por ejercer su derecho, se conoce como precio de ejercicio. Las dos clases principales de opciones son: la opción de compra – comprar la acción al precio de ejercicio de la misma – y la opción de venta- vender la acción al precio de ejercicio de la misma.

En el anexo N°01, se describe brevemente las opciones de compra y venta.

4.3. Opciones Reales

La técnica de aplicar las opciones reales al estudio de la evaluación de proyectos incluye factores que la teoría clásica ha dejado de lado, como son; la flexibilidad, la incertidumbre y la volatilidad. A través de la inclusión de estos componentes se puede llegar a un análisis mucho más dinámico, que permita vincular el proyecto con el panorama económico, estratégico y de mercado, logrando así, obtener mediante herramientas financieras y estadísticas unos flujos de caja futuros mucho más acordes con la realidad del mismo.

La valoración de las opciones reales aplica el pensamiento que subyace a las opciones financieras para evaluar activos físicos o reales. Por analogía, con una opción financiera, una opción real es el derecho, pero no la obligación, de adoptar una acción que afecta a un activo físico o real, a un costo predeterminado, durante un lapso de tiempo predeterminado (la duración de la opción). Si bien las opciones reales y financieras tienen muchas semejanzas, la analogía no es exacta.

El enfoque de opciones reales parte del reconocimiento del papel importante que, la gestión dinámica y continuada de los proyectos de inversión, juega en la determinación del valor de éstos; y por tanto, en el análisis de su aceptación o rechazo.

La técnica ROV permite que los directivos de las empresas evalúen las opciones reales para agregar valor a sus empresas, proveyéndoles una herramienta para reconocer y actuar ante nuevas oportunidades con el objeto de aumentar las ganancias o mitigar las pérdidas. Si bien muchos directores no están acostumbrados a evaluar opciones reales, si están familiarizados con el concepto de intangibles del proyecto. La técnica ROV ofrece a los directivos empresariales una herramienta para trasladar algunos de esos intangibles a un ámbito en el que puedan ser abordados en forma tangible y coherente.

- Volatilidad en las Opciones Reales.

La volatilidad es un parámetro fundamental en la evaluación de proyectos mediante opciones reales, los modelos de opciones reales requieren de la volatilidad, la cual no es fácil de calcular porque usualmente no existe información histórica del activo subyacente, algunos autores han usado métodos basándose en la simulación de Montecarlo para estimar la volatilidad.

A través de los años se han propuesto diversos métodos para dicho cálculo y algunos proveen mejores resultados que otros, la gran mayoría parten de los mismos principios para su cálculo, pero se generan diferencias sustanciales al ser aplicados en el mismo proyecto.

La estimación de la volatilidad en un proyecto es uno de los problemas más recurrentes que se encuentran al querer aplicar la teoría de las opciones reales. Los proyectos contienen múltiples variables de incertidumbre, las cuales no pueden ser estimadas con datos históricos que se encuentran en el mercado, ya que la información disponible no es suficiente.

Copeland y Antikarov (2001), proponen un modelo general para la estimación de la volatilidad en la evaluación de proyectos a través del uso de la simulación de Montecarlo, este método de cálculo es el más recomendado y utilizado por autores como Herath y Park, Munn, Cobb y Charnes, entre otros.²

² León, Porras y Torres. *La estimación de la volatilidad en la evaluación de proyectos de inversión a través del uso de opciones reales*. Universidad de la Sabana. Instituto de Post Grado – Finanzas y Mercados de Capitales.

5. ESTIMACIÓN DE INGRESOS Y EGRESOS

5. ESTIMACIÓN DE INGRESOS Y EGRESOS

5.1. Estimación de ingresos

5.1.1. Modelos de precios de commodities¹²

El desarrollo de modelos de comportamiento de precios spot de commodities se basa en procesos estocásticos y se pueden clasificar según dos características, la estacionariedad o no de los modelos y el número de factores estocásticos utilizados (Milla, 2005). Un modelo estacionario se refiere a un proceso donde las propiedades estadísticas son constantes sobre periodos largos de tiempo, es decir, las perturbaciones son transitorias y no afectan el comportamiento de largo plazo de la variable, en cambio, en un proceso no-estacionario las propiedades estadísticas de la variable no son constantes y cambian en el tiempo según el nivel de las perturbaciones del proceso. La mayor parte de los modelos desarrollados para precios de commodities son no-estacionarios, lo cual evidencia la necesidad de trabajar con modelos que caractericen de forma más realista el comportamiento de los precios.

El número de factores estocásticos o variables de estado utilizados para caracterizar la dinámica de los precios de commodities depende de las características del activo analizado, en general, a mayor número de factores más realista es la modelación pero con ello aumenta el nivel de complejidad de los procesos involucrados.

Uno de los primeros trabajos en caracterizar el comportamiento del precio de un commodity es Brennan y Schwartz (1985) donde se modela el precio del cobre a través de un movimiento Browniano geométrico el cual es un proceso de un solo factor estocástico. La evidencia empírica e investigaciones ulteriores reconocen la presencia de una tendencia de largo plazo en los precios

¹ Barría Quezada, Carlos. *Inversiones bajo incertidumbre en generación eléctrica: Aplicación de opciones reales y modelos de precios*

² Avinash Dixit and Robert Pindyck. *Investment Under Uncertainty*.

de commodities relacionada con los costos marginales de producción de dichos activos, en Gibson y Schwartz (1990) se desarrolla un modelo de dos factores estocásticos, donde el precio spot del petróleo sigue un movimiento Browniano geométrico, y el retorno por conveniencia un proceso con reversión a la media del tipo *Ornstein-Uhlenbeck*. Luego, Schwartz (1997) extiende el modelo con un tercer factor estocástico que representa el precio medio de largo plazo a través de otro proceso con reversión a la media.

El artículo Schwartz y Smith (2000) presenta un modelo de dos factores estocásticos que incluye un factor de reversión a la media que permite modelar las fluctuaciones de corto plazo del precio spot de un *commodity* y un factor de equilibrio que captura la dinámica de largo plazo de los precios. En Cortazar y Schwartz (2003) se implementa un modelo de factores para el precio futuro del petróleo, siendo más simple y parsimonioso que sus antecesores en la forma de estimar los parámetros de los datos de mercados de futuros.

Otro enfoque para el análisis de precios de *commodities*, es modelar directamente los precios de los contratos futuros o *forwards* transados en los mercados construyendo curvas aproximadas de precios basándose en la metodología HJM propuesta en el trabajo Heath, Jarrow y Morton (1992). Bajo este esquema de análisis, se describe la dinámica temporal de las curvas de precios *forward* utilizando procesos Brownianos multidimensionales para las variables de estado. El artículo Manoliu y Tompaidis (2002) presenta un modelo de dos factores para el precio de contratos futuros de un *commodity* energético, utilizando datos de series de precios de futuros de gas natural, incluye una variable de estado determinística para modelar la estacionalidad del comportamiento de los precios.

5.1.1.1. Proceso estocástico

Un proceso estocástico es una colección de variables aleatorias $\{X_t | t \in T\}$ definido sobre el mismo espacio de probabilidad $(\Omega, \mathcal{F}, P)$. El conjunto T es llamado conjunto parámetro.

Si $T = N = \{0, 1, 2, \dots\}$, el proceso se dice proceso de parámetro discreto. Si T no es contable, el proceso se dice proceso de parámetro continuo.

El conjunto de los valores que toma X_t se denomina espacio de estados, S .

El índice t representa el tiempo, y entonces se piensa de X_t como el “estado” o la “posición” del proceso en el tiempo t .

Así tenemos que, un proceso estocástico se define por una ley de probabilidad que gobierna la evolución de una variable X , a lo largo de un horizonte temporal t . de tal manera que para diferentes momentos del tiempo $t_1 < t_2 < t_3 \dots$ podemos obtener la probabilidad de que los valores correspondientes $x_1, x_2, x_3, \dots$ se sitúen dentro de un rango específico como, por ejemplo:

$$\text{Prob} (a_1 < x_1 \leq b_1)$$

$$\text{Prob} (a_2 < x_2 \leq b_2)$$

$$\text{Prob} (a_3 < x_3 \leq b_3)$$

Cuando se llegue al momento t_1 y observemos el valor correspondiente de x_1 , podemos condicionar la probabilidad de futuros sucesos a la luz de esta información.

- **Caminata aleatoria y Proceso Wiener³**

Un proceso de Wiener⁴ (o Gauss-Wiener), también llamado movimiento Browniano es un proceso estocástico con tres características básicas:

- Es un proceso de Markov. Lo que significa que la distribución de probabilidad de todos los valores futuros del proceso depende únicamente de su valor actual, no siendo afectada por

³ Mascareñas Juan. *Procesos Estocásticos: Introducción*.

⁴ Procesos Estocásticos: el Proceso Wiener – Juan Mascareñas, Universidad Complutense de Madrid, Marzo – 2008.

sus valores pasados, ni por ninguna otra información actual. Por tanto, el valor actual del proceso es la única información necesaria para realizar la mejor estimación de su valor futuro. El proceso de Wiener es un tipo de proceso de Markov con una media nula y una varianza anual igual a la unidad.

- Tiene incrementos independientes. Lo que significa que la distribución de probabilidad de los cambios en el proceso en cualquier intervalo temporal es independiente de la de cualquier otro intervalo. Así pues, si la variable aleatoria z sigue un proceso de Wiener sus variaciones Δz para cualesquiera dos pequeños intervalos de tiempo Δt son independientes.
- Las variaciones en el proceso Δz producidas en un intervalo finito de tiempo Δt se distribuyen normalmente, con una varianza que aumenta linealmente con el intervalo temporal. Por tanto, $\Delta z = \varepsilon\sqrt{\Delta t}$ (donde ε es una variable aleatoria de media cero y varianza 1).

El proceso de Markov implica que sólo la información actual es importante a la hora de establecer los valores futuros esperados del proceso.

El hecho de que un proceso de Wiener tenga incrementos independientes implica que podamos considerarlo como una versión en tiempo continuo de un recorrido aleatorio.

Cuando nos referimos a los precios de los commodities no parece razonable suponer que las variaciones en los precios sigan una distribución normal, entre otras cosas, porque el precio nunca podrá ser inferior a cero. Parece más lógico suponer que los cambios en los precios (los rendimientos) siguen una distribución logarítmico-normal o logonormal, es decir, que los cambios en los logaritmos de los precios se distribuyen según una normal. Lo que significa modelizar el logaritmo del precio como un proceso de Wiener en lugar del propio precio.

Veamos las propiedades del proceso de Wiener de modo formal. Si $z(t)$ sigue un proceso de Wiener, entonces cualquier variación en $z(\Delta z)$ correspondiente a un intervalo temporal Δt , satisfará las condiciones siguientes:

1. La relación entre Δz y Δt viene dada por: $\Delta z = \varepsilon_t \sqrt{\Delta t}$ donde ε_t es una variable aleatoria normalmente distribuida con una media nula y una desviación típica igual a la unidad.
2. La variable aleatoria ε_t no está autocorrelacionada, esto es, $E(\varepsilon_t \varepsilon_s) = 0$ para $t \neq s$. De tal manera que los valores de Δz para dos diferentes intervalos de tiempo son independientes entre sí (así $z(t)$ sigue un proceso de Markov con incrementos independientes).

La forma más habitual de representar a un movimiento browniano está dada por la ecuación diferencial estocástica siguiente:

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dw_t \dots \dots \dots (1)$$

Donde μ es el retorno total del precio, σ es la volatilidad de los retornos del precio, y dw_t es el incremento de un proceso de Wiener, esto es, un movimiento browniano.

5.1.1.2. Reversión a la Media.

No todos los precios de activos pueden modelarse con un movimiento Browniano geométrico, los precios de commodities como el oro, cobre, petróleo, gas natural o electricidad pueden ser relacionados de alguna manera con sus costos marginales de producción de largo plazo, por lo tanto, en general presentan una tendencia de equilibrio de largo plazo. En este sentido, se utilizan

procesos estocásticos con reversión a la media, el más simple es el llamado proceso de Ornstein-Uhlenbeck⁵.

Un proceso con reversión a la media se define⁶ como aquel en el cual los retornos tienen una autocorrelación negativa. Esta definición permitiría inducir un procedimiento para contrastar la hipótesis de si un proceso revierte a la media o no lo hace.

La forma más habitual de representar a un proceso con reversión a la media está dada por la ecuación diferencial estocástica siguiente:

$$dS_t = \alpha(\mu - S_t)dt + \sigma S_t^r dB_t \dots \dots \dots (2)$$

Donde el parámetro constante α es llamado velocidad de la reversión, μ es la media de largo plazo, σ la volatilidad del proceso y B_t un movimiento Browniano.

Un problema importante consiste en determinar los parámetros presentes en la ecuación (2) dados los datos históricos de un proceso que se supone revierte a la media. Este procedimiento supone el uso de metodologías como la maximización de la verosimilitud o la minimización de varianza.

Adicionalmente, a la ecuación (2) se plantean ecuaciones más generales para modelar los procesos con reversión a la media, como es el caso de las ecuaciones (3) y (4), en las cuales la media de largo plazo exhibe un comportamiento dependiente del tiempo, bien como una función determinística o como un proceso estocástico por sí misma. En el caso que la media siga también un proceso estocástico se tiene la posibilidad de que el ruido presente en el proceso sea proporcional o aditivo. En este caso la función $\beta(t)$ puede corresponder a una función del tiempo o

⁵ Barría Quezada, Carlos. *Inversiones bajo incertidumbre en generación eléctrica: Aplicación de opciones reales y modelos de precios*

⁶ Palacios Montoya, Sebastián. *Estudio de procesos de reversión a la media*

en el caso más simple a una constante y adicionalmente, los movimientos Brownianos presentes en sus ecuaciones pueden estar correlacionados con un factor de correlación ρ .

$$dS_t = \alpha(\mu(t) - S_t)dt + \sigma S_t^r dB_t \dots \dots \dots (3)$$

$$dS_t = \alpha(\mu - S_t)dt + \sigma S_t^r dB_t \dots \dots \dots (4)$$

$$d\mu_t = \beta(t)\mu_t dt + \tau\mu_t^q dW_t$$

5.1.1.3. Movimiento Browniano.⁷⁸

El proceso estocástico llamado movimiento browniano o proceso de Wiener es un modelo maestro en diversas ramas de la ciencia y de singular importancia para las finanzas. Prácticamente todos los modelos a tiempo continuo que se utilizan en las finanzas modernas se basan en este proceso, esto se debe a que a partir de él se construyen modelos de precios de activos financieros y de tasas de interés.

Antes de que el movimiento browniano se aplicara a trabajos en física, en el año 1900, Louis Bachelier construyó y aplicó este proceso a las finanzas en su tesis doctoral. A pesar de que en su época esta tesis fue poco comprendida y aceptada, gracias a estos trabajos Louis Bachelier es considerado hoy en día el precursor de las Finanzas Cuantitativas Modernas. Norbert Wiener fue el primero en demostrar rigurosamente en 1923 la existencia del proceso estocástico conocido como movimiento browniano definido como: $W(0)=0$; para $t>s$, el desplazamiento $W(t)-W(s)$ es independiente de la historia del proceso hasta el tiempo s ; y sigue la distribución normal (de gauss) con media cero y varianza $t-s$. Adicionalmente, puede construirse de tal forma que para todos los

⁷ Núñez Vargas, Sandra. *Adaptación del modelo Black-Scholes en la simulación de un portafolio de acciones*.

⁸ Rincón, Luis. *Introducción a los Procesos Estocásticos, Capítulo 8: Movimiento Browniano*.

elementos aleatorios w , $W(t,s)$ sea continuo, como función del tiempo. En estos casos se dice que el proceso tiene trayectorias continuas.

A su vez, el movimiento browniano cumple con que sus trayectorias en ningún punto tienen derivada, es decir, está formando únicamente por picos y es por eso que no se puede hablar sobre la velocidad de una trayectoria posible del movimiento browniano.

5.1.1.4. Modelo Ornstein Uhlenbeck⁹

Este modelo fue propuesto por Ornstein y Uhlenbeck (1930), para modelar la velocidad del movimiento difuso de una partícula en intervalos de tiempo pequeños. Un movimiento browniano puede ser un buen modelo para un movimiento de partículas, sin embargo, luego de un choque la partícula no se detiene después de cambiar de posición, moviéndose de forma continua a medida que pierde velocidad; el movimiento browniano no es capaz de capturar esto último.

El proceso Ornstein Uhlenbeck, es un proceso estocástico que, en términos generales, describe la velocidad de una partícula browniana bajo la influencia de una fricción. El proceso es estacionario, Gaussiano, y Markov, y es el único proceso, que satisface estas tres condiciones, lo que permite las transformaciones lineales de las variables en espacio y tiempo. Con el tiempo, el proceso tiende a inclinarse hacia su media de largo plazo: como un proceso de reversión a la media.

El proceso puede ser considerado como una modificación de un paseo aleatorio en tiempo continuo, o proceso de Wiener, en la que las propiedades del proceso han sido cambiadas, de modo que hay una tendencia por la que el paseo se mueve hacia una posición central, con una mayor atracción cuando el proceso está más lejos del centro. El proceso de

⁹ Omer Onalam, Financial Modelling with Ornstein – Uhlenbeck Processes Driven by Lévy Process.

Ornstein-Uhlenbeck también puede ser considerado como análogo al proceso de tiempo discreto AR(1).¹⁰

Un proceso Ornstein Uhlenbeck, x_t , satisface la siguiente ecuación estocástica:

$$dx_t = \theta(\mu - x_t)dt + \sigma dW_t^{11} \dots \dots \dots (5)$$

Donde $\theta > 0$, $\mu > 0$ y $\sigma > 0$ son parámetros y W_t denota un proceso Wiener. Esta representación es la definición básica del proceso.

Así tenemos que:

μ : valor de la media

σ : volatilidad

θ : velocidad a la cual la variable revierte a su media

- **Modelo 1 de Lucia y Schwartz (2002)**¹²

El modelo caracteriza el precio spot a través de dos componentes, el primero se considera totalmente predecible y se representa como una función determinística conocida dependiente del tiempo $f(t)$, dicho componente caracteriza la regularidad en la evolución de los precios como alguna tendencia determinística o comportamiento periódico. El segundo término es un proceso estocástico estacionario con reversión a la media del tipo Ornstein-Uhlenbeck X_t , así las ecuaciones que modelan el precio se representan según las siguientes ecuaciones:

¹⁰ Véase Dixit y Pindyck (1994)

¹¹ Smith, William. *On the simulation and estimation of the Mean Reverting Ornstein Uhlenbeck Process*.

¹² Barria Quezada, Carlos. *Inversiones bajo incertidumbre en generación eléctrica: Aplicación de opciones reales y modelos de precios*.

$$P_t = f(t) + X_t \dots \dots \dots (6)$$

$$dX_t = -kX_t dt + \sigma dZ \dots \dots \dots (7)$$

Donde k es la velocidad de ajuste a la reversión que representa la tasa de convergencia al precio de largo plazo, mientras más alto el valor de k más rápida será la convergencia ($k > 0$) y dZ es un incremento de movimiento Browniano estándar y representa el comportamiento aleatorio del precio. Así, la única fuente de incertidumbre del modelo proviene del comportamiento estocástico de X_t con lo cual se define como la variable de estado del modelo.

La naturaleza de las series históricas del precio del oro evidentemente es discreta, por lo tanto, el proceso continuo debe ser discretizado para poder estimar sus parámetros. La ecuación incluye una función determinística $f(t)$, la cual se fija como la tendencia de largo plazo del precio P que representa el nivel medio histórico en el modelo, así el proceso continuo de precios de un factor estocástico queda según la siguiente expresión:

$$P_t = \bar{P} + X_t \dots \dots \dots (8)$$

$$dX_t = -kX_t dt + \sigma dZ \dots \dots \dots (9)$$

Reordenando la ecuación (6) y reemplazando en (7) se tiene:

$$X_t = P_t - \bar{P} \dots \dots \dots (10)$$

$$d(P_t - \bar{P}) = -k(P_t - \bar{P})dt + \sigma dZ$$

Así, el proceso queda como:

$$dP_t = k(\bar{P} - P_t)dt + \sigma dZ \dots \dots \dots (11)$$

Esto significa que hay una fuerza de reversión sobre la variable P, la cual hace que converja hacia un nivel de equilibrio $\bar{P}$. La velocidad del proceso de reversión está dada por el parámetro k.

Esta ecuación diferencial estocástica posee una solución¹³ y tiene la siguiente solución en términos de la integral estocástica (Integral de Ito):

$$P_t = P_0 e^{-kT} + (1 - e^{-kT})\bar{P} + \sigma e^{-kT} \int_0^T e^{kT} dz(t) \dots \dots \dots (12)$$

La variable P_t tiene distribución Normal con las siguientes expresiones para la media y la varianza¹⁴:

$$E(P_t) = P_0 e^{-kT} + \bar{P}(1 - e^{-kT})$$

$$Var(P_t) = \frac{\sigma^2}{2k} (1 - e^{-2kT}) \dots \dots \dots (13)$$

La ecuación del valor esperado de la media de P_t , es simplemente un promedio ponderado entre, el nivel inicial P_0 y el nivel de largo plazo $\bar{P}$ (los pesos suman uno y son funciones del tiempo y la velocidad de reversión).

Existe la siguiente relación entre la velocidad de reversión a la media (k) y la vida media (H) del proceso: $H = \ln(2)/k$. La vida media (H), es el tiempo esperado por el cual la variable regresa hacia su valor de medio de largo plazo $\bar{P}$.

¹³ Véase Kloeden y Platina, 1992, tema 4.4, eq.4.2

¹⁴ Véase por ejemplo Dixit & Pindyck, 1994, capítulo 3.

Para realizar la simulación es necesario obtener la ecuación de tiempo discreto para este proceso. El formato correcto de tiempo discreto para el proceso de tiempo continuo de reversión a la media es el proceso estacionario Autorregresivo de primer orden, AR(1)¹⁵. Por lo que la ecuación de simulación para P(t) se realiza utilizando la expresión de tiempo discreto¹⁶, (válido para cualquier tamaño de Δt):

$$P_t = e^{-k\Delta t} P_{t-1} + (1 - e^{-k\Delta t}) \bar{P} + \sigma \sqrt{\frac{(1 - e^{-2k\Delta t})}{2k}} dW_t \dots \dots \dots (14)$$

Tenga en cuenta que la ecuación anterior puede verse como la suma de la ecuación de valor esperado con un término aleatorio (aparece la distribución normal estándar) con media cero. La discretización del AR(1), presentada arriba es exacta en el sentido de que podemos utilizar Δt grandes, sin ningún problema en cuanto a la exactitud de la simulación.

Tenga en cuenta P(t) tiene distribución normal y puede asumir valores incluso negativos. En muchas aplicaciones deseamos que la variable estocástica asuma sólo valores positivos, por ejemplo en el caso de los precios de los productos P.

Estimación de los parámetros del modelo, a través de una regresión OLS:¹⁷¹⁸

Para los cálculos se han utilizado datos de precios históricos¹⁹ desde el año 2000.

¹⁵ Dixit & Pindyck, 1994, p.76.

¹⁶ Véase también "Monte Carlo Simulation of stochastic Processes", http://www.puc-rio.br/marco.ind/sim_proc.html#mc-mrd

¹⁷ Ver anexo N°03

¹⁸ Smith, William. On the simulation of the Mean-Reverting Ornstein-Uhlenbeck Process.

¹⁹ Información obtenida de www.kitco.com.

Reordenamos la ecuación 14, de tal manera que se pueda realizar una regresión por mínimos cuadrados, para así poder encontrar los parámetros necesarios para la estimación del modelo principal.²⁰

$$P_t = (1 - e^{-k\Delta t})\bar{P} + e^{-k\Delta t}P_{t-1} + \sigma \sqrt{\frac{(1 - e^{-2k\Delta t})}{2k}} dW_t$$

$$y = a + bx + \varepsilon_t$$

Así tenemos que:

$$e^{-k\Delta t} = b$$

$$-\hat{k}\Delta t = \ln(b)$$

$$\hat{k} = -\frac{\ln(b)}{\Delta t}$$

$$(1 - e^{-\hat{k}\Delta t})\hat{\mu} = a$$

$$(1 - b)\hat{\mu} = a$$

$$\hat{\mu}^{21} = a1 - b$$

$$\hat{\sigma} = sd(\varepsilon_t) / \sqrt{\frac{(1 - e^{-2\hat{k}\Delta t})}{2\hat{k}}}$$

$$\hat{\sigma} = sd(\varepsilon_t) \sqrt{\frac{2\hat{k}}{(1 - e^{-2\hat{k}\Delta t})}}$$

²⁰ Para realizar la regresión se ha trabajado con el Logaritmo Natural del precio no con el precio en sí mismo, esto para evitar tener problemas de raíces unitarias (ver anexo 02), las cuales si las tuviéramos no habría proceso de reversión y también para evitar heterocedasticidad. Vale mencionar que no existe problemas de autocorrelación con la regresión realizada, teniendo en cuenta lo primero.

²¹ Para estimar mu, se ha utilizado como referencia la formula $\hat{\mu} = \ln(\bar{P})$, utilizada en el paper, *Monte Carlo Simulation of Stochastic Processes*.

Con las expresiones anteriores calculamos cada parámetro. Los valores encontrados para cada parámetro son coherentes con investigaciones previas, como por ejemplo Brennan y Schwartz (1985). La velocidad de reversión para el oro no es comparable con otros commodities pues esta es mucho más lenta que cualquier otro metal, aunque resulta ser muy volátil.

Debido a que en la actualidad, no existe un consenso, sobre las perspectivas de crecimiento del precio del oro, es que se ha tomado dos posibles escenarios para poder estimar el comportamiento del mismo. El primero un escenario alcista y el segundo un escenario bajista.

Primeros supuestos

- En ambos escenarios, el producto del precio por la cantidad de oro extraída nos proporciona el valor de los ingresos. Se considera que todo lo que se produce se vende.

- **Producción de onzas de Oro:**

La minería peruana²² enfrenta uno de sus años más difíciles tras un largo periodo de auge. Se prevé que la producción del sector caería en 2012 por tercer año consecutivo, los precios siguen cediendo por la desaceleración económica global, las reservas de oro siguen a la baja y los conflictos sociales amenazan paralizar gigantescos proyectos. En los últimos años los altos precios de los metales han amortiguado la caída en la producción de metales, pero la crisis de deuda europea presionó el valor de las exportaciones mineras. Debido a esto, es que se ha proyectado la cantidad de mineral producido con una variación de -4%.

²² Diario Gestión, *La producción minera caería en el 2012 por tercer año seguido*, 19 de junio 2012. Dirección URL: <http://gestion.pe/2012/06/19/economia/produccion-mineria-caeria-2012-tercer-ano-seguido-2005524> (Consulta: 29 de agosto del 2012).

A. Escenario alcista

Dada la situación económica-financiera mundial, diversos analistas e instituciones, divergen en sus pronósticos respecto al precio del oro, algunos creen que su tendencia seguirá siendo al alza mientras que otros consideran que habría que hacer correcciones a la baja.

Según Bernhard Schmidt²³, la clave para entender la fortaleza del oro es que éste se encuentra en un proceso de recuperar su condición de dinero. En otras palabras, el oro se encuentra en un proceso de re-monetización como consecuencia de la pérdida de confianza en el papel dinero. La creación masiva de liquidez y las tasas de intereses reales mínimos o incluso negativos son los dos promotores más importantes para el oro.

En contra de lo que muchas personas piensan todavía no existe una “euforia” en el oro: Mientras en 1980 el sector aurífero representaba más del 26% del patrimonio financiero mundial (renta fija y renta variable). Hoy en día no llega ni al 5%, lo que reafirma la frase de que “muchos hablan del oro pero pocos lo tienen en sus bolsillos”.

A pesar de la debilidad del oro en los últimos meses los vendedores de oro hablan de una demanda muy fuerte y a menudo no les queda más stock lo que muestra la diferencia entre el precio del “oro papel” que cotiza en la bolsa, y la situación real del oro físico. Schmidt opina que el oro seguirá su tendencia alcista en 2012 y las empresas auríferas se recuperarán. Los pronósticos en un mercado irracional, manipulado y volátil son difíciles, pero cree que el oro no bajará en 2012 por debajo de 1450 USD y cotizará al finalmente entre 1800 y 2000 USD, si se mantienen el sistema estable. Además sostiene que, si la confianza en el euro y otras divisas de papel dinero,

²³ Analista y Asesor financiero especializado en metales preciosos y materias primas. B. Schmidt se ha dedicado a analizar el mercado de metales preciosos, materias primas y energía, desde el año 2000. Fue analista y consultor para uno de los fondos de oro y materias primas más influyentes de Alemania. Con más de 12 años de experiencia en el sector financiero, B. Schmidt es analista y asesor autónomo desde el 2004.

tanto cómo la solvencia de los grandes estados y del sector bancario se desploman, el precio del oro debería subir muy por encima de 2000 USD.

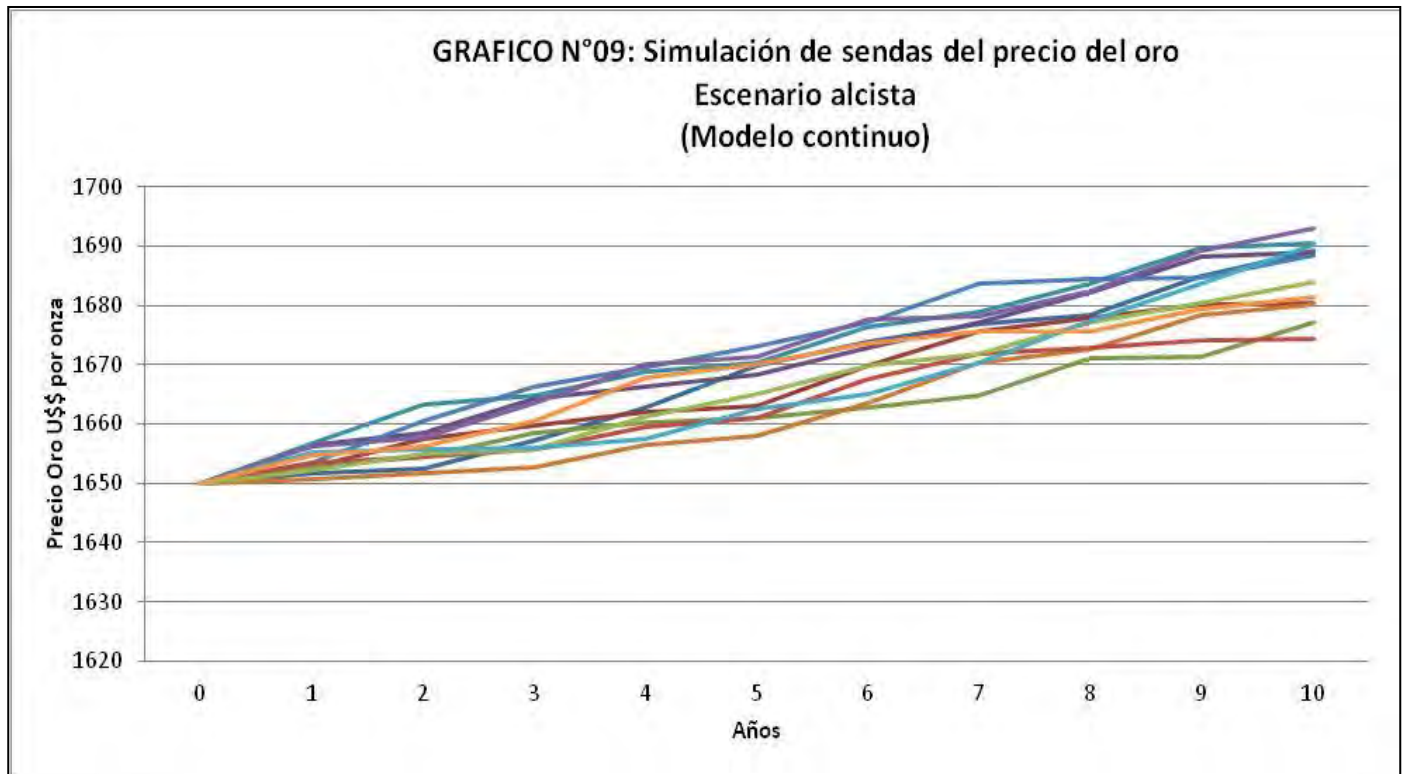
Por otro lado la revisión de Basilea III²⁴ puede revitalizar el rally del oro, si finalmente Basilea III decide en su nueva revisión de las normas calificar el oro como activo tier 1²⁵, reconociéndolo como dinero real, según asegura Peter Krauth, en Money Morning.com.

“Si se confirma desde luego que sería la bomba”, asegura Pablo del Barrio, de Trade Brokers. “Sería un factor más para la subida a largo plazo, asumiendo que las políticas expansivas provocarían un escenario inflacionista”. “Después de la caída inicial a principios de mayo, durante estas últimas semanas el oro se negoció dentro de un rango relativamente estrecho, pero sumamente cambiante”, aseguran desde Saxo Bank. “Los inversores han tenido dificultades para decidir si el oro es un activo de riesgo o un refugio y han elegido, en cambio, negociar dentro del rango.” Y es que mientras se ha ido deteriorando cada vez más el entorno económico europeo y los indicadores de Estados Unidos comienzan a dar señales de debilidad, mucho se ha venido hablando de una burbuja en el oro, especialmente después de que alcanzara máximos históricos en los 1.900 dólares el año pasado.

En base a lo antes descrito y para poder realizar las estimaciones necesarias se ha tomado como precio medio US\$ 2000. A continuación se muestran algunas simulaciones considerando el escenario alcista.

²⁴ Cotizalia Blog, *La revisión de Basilea III puede revitalizar el rally del oro*, 27 de junio 2012. Dirección URL: <http://www.cotizalia.com/noticias/2012/06/30/la-revision-de-basilea-iii-puede-revitalizar-el-rally-del-oro-1600/>, (consulta 29 de agosto 2012)

²⁵ Medida central de la fortaleza financiera de un banco desde el punto de vista del regulador. Se compone de un capital básico, que consiste principalmente en las acciones ordinarias y de las reservas declarada (o utilidades retenidas), pero también puede incluir las acciones preferenciales no-acumulativas no-redimibles.

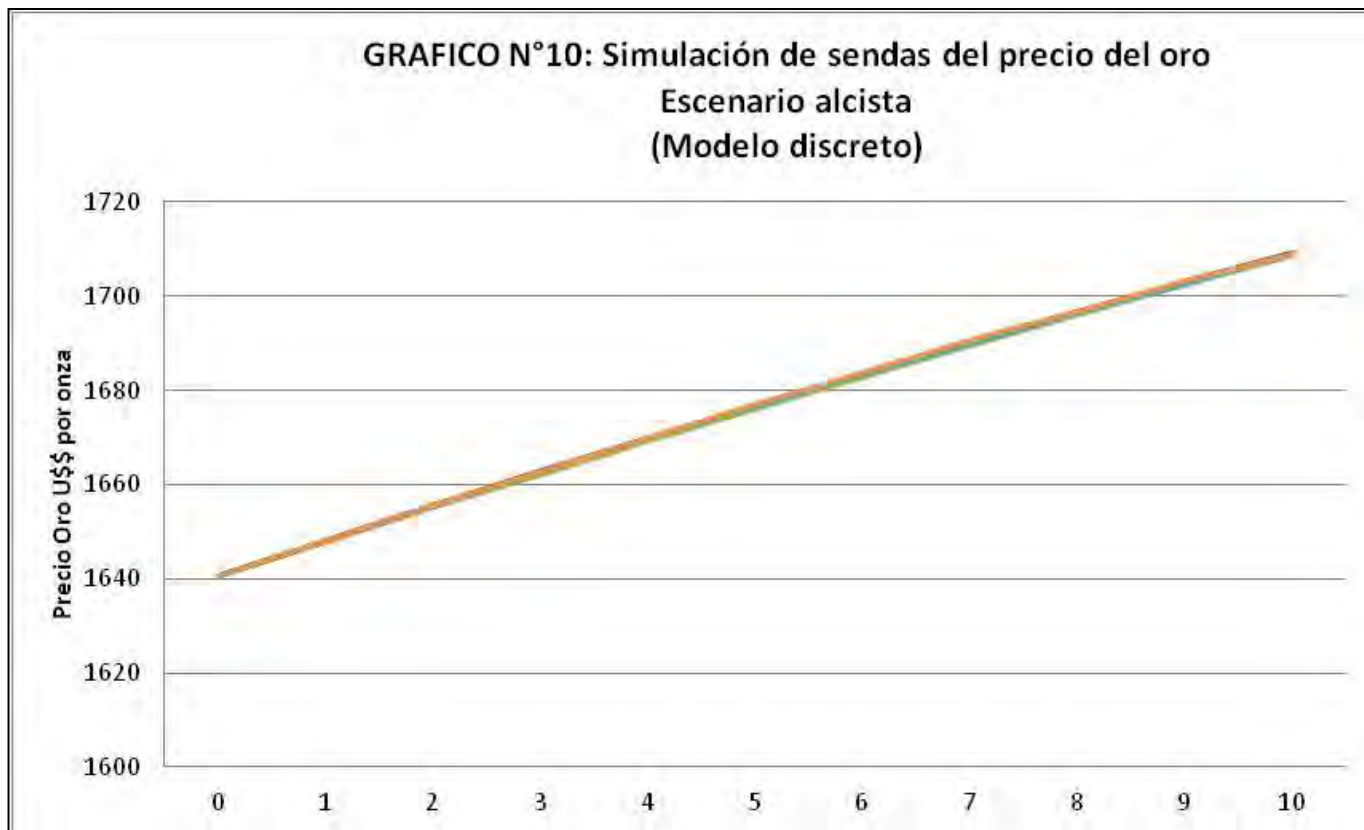


Fuente: www.kitco.com
Elaboración propia

Las sendas que obtenemos al utilizar la forma continua, son como se muestran en el gráfico N°09.

El grafico muestra que con un precio inicial de US\$ 1650 por onza troy, y con un precio medio de US\$ 2000 por onza, las sendas empezarán a crecer, por los próximos 10 años, pero de forma lenta.

Para poder apreciar mejor la convergencia, utilizamos la forma discreta del modelo:



Fuente: www.kitco.com
Elaboración propia

El grafico N°10 muestra que el precio del oro no converge tan rápidamente a su valor medio como si lo hacen otros metales, pero si se ve una clara tendencia a aumentar dentro de los próximos diez años. Se estima que para que el oro llegue a su valor medio histórico, deberán de pasar al menos 31²⁶ años.

B. Escenario bajista

Por mencionar a aquellos que han hecho revisiones a la baja tenemos a, el banco suizo Credit Suisse²⁷, el cual se adhiere a una serie de bancos internacionales²⁸ que han rebajado su pronóstico

²⁶ Calculado a través de $H = \ln(2) / k$.

²⁷ Oro y Finanzas, Diario digital del mercado del oro, *Varios bancos rebajan sus pronósticos para el precio del oro*, 13 de julio del 2012. Dirección URL <http://www.oroymasfinanzas.com/2012/07/varios-bancos-rebajan-pronostico-precio-oro/>, (consultada: 29 de agosto del 2012).

sobre los precios de los metales preciosos para los años 2012 y 2013, en medio de la incertidumbre sobre el crecimiento mundial.

El gigante de la banca suiza ha realizado sustanciales recortes en sus pronósticos de precios de metales básicos, siendo más moderados en su reducción de las perspectivas sobre metales preciosos como el oro. Credit Suisse prevé un precio medio de 1.680 dólares la onza para 2012, esto es un 5% menos que sus estimaciones previas. Para 2013, prevé un precio medio del oro de 1.720 dólares la onza, un 4,2% por debajo que la estimación anterior.

“Ahora está claro que nuestras expectativas de hace tres meses de que el crecimiento mundial volvería al 4% en el segundo semestre del año fue demasiado optimista”, indicó Ric Deverell, director de investigación de materias primas de Credit Suisse. “Tenemos una visión optimista sobre el oro sobre todo si la Reserva Federal aplica mayores flexibilizaciones cuantitativas durante el tercer trimestre del año, pero existen dudas sobre la debilidad persistente en los mercados de oro de la India y el Sudeste asiático”, añadió Deverell.

Asimismo, la entidad financiera estadounidense Morgan Stanley²⁹ ha rebajado su pronóstico para el precio de la mayoría de los metales preciosos e industriales hasta 2014, en un informe publicado recientemente. Como señala el informe del banco³⁰, en los últimos meses las materias primas como activos de inversión, han tenido que enfrentar la fortaleza del dólar, la ralentización del crecimiento de la economía mundial y el aumento a la aversión al riesgo.

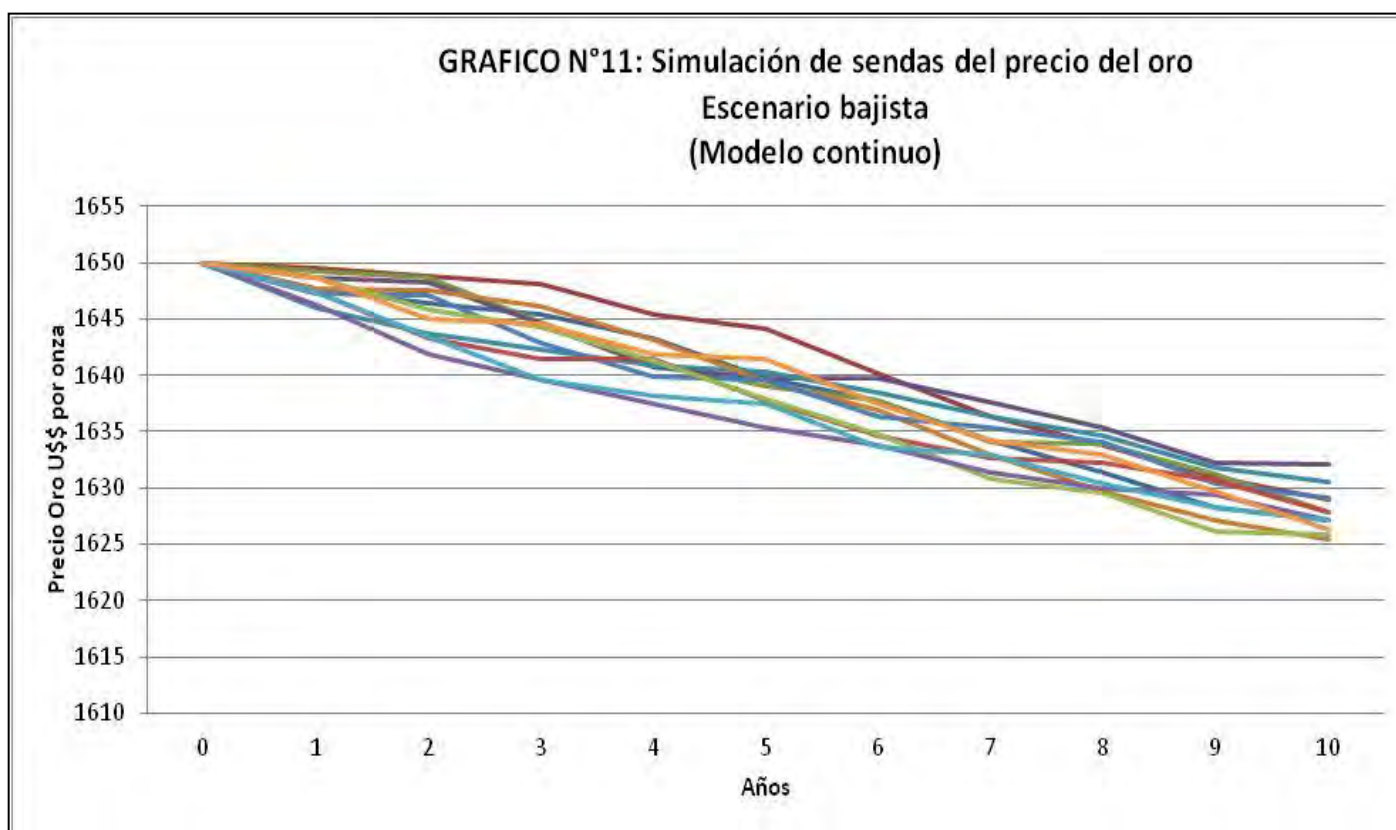
²⁸ El Royal Bank of Scotland asimismo recortaba su previsión para los precios promedio de los metales preciosos para 2012 y 2013, mientras que UBS y Bank of America Merrill Lynch realizaron recortes similares. Del mismo modo HSBC redujo un 9% su pronóstico para el precio de la plata para el año 2012.

²⁹ Oro y Finanzas, el diario digital del mercado del oro, *Morgan Stanley rebaja su pronóstico para el precio del oro*, 3 de julio del 2012. Dirección URL: <http://www.oroymas.com/2012/07/morgan-stanley-rebaja-pronostico-precio-del-oro/>, (Consulta: 29 de agosto del 2012).

³⁰ El informe argumenta que la cotización del oro se ha resentido como consecuencia de la crisis crediticia en la zona del euro, de un dólar más fuerte y de la consecuente debilidad del euro. La crisis crediticia estaría lastrando el crecimiento mundial y fortaleciendo al dólar, lo que estaría frenando la demanda industrial y de inversión de estos metales. Pero los expertos de Morgan Stanley puntualizan que las razones para un rally alcista en la cotización del oro, continúan estando intactas, y que el dorado metal se beneficiaría de las tasas de interés negativas en Estados Unidos, los problemas sin solventar de la zona Euro y de las posibles medidas de estímulo económico de los bancos centrales.

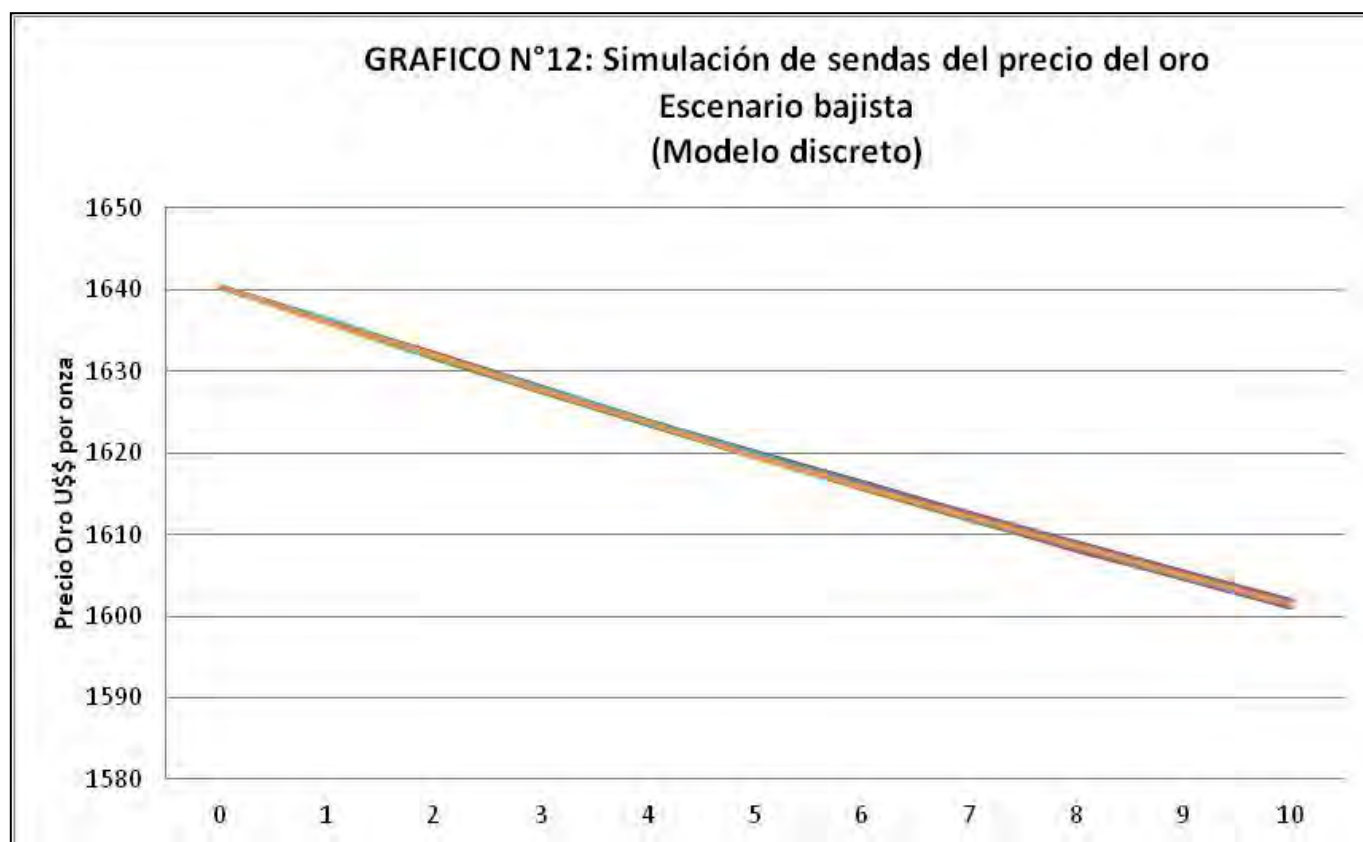
Peter Richardson y Joel Crane, analistas de Morgan Stanley, muestran optimismo sobre las perspectivas del oro, pero a pesar de todo reducen sus perspectivas para el precio del metal. Así, rebajan su estimación promedio para el precio del oro para 2012 a 1.677 dólares, para 2013 la estimación es de 1.816 y para 2014 de 1.760 dólares por onza troy.

En base a lo antes descrito y para poder realizar las estimaciones necesarias se ha tomado como precio medio US\$ 1450. En el grafico N°11 se muestran algunas sendas estimadas para este escenario.



Fuente: www.kitco.com
Elaboración propia.

A través de la forma discreta del modelo, observamos la convergencia para este escenario:



Fuente: www.kitco.com
Elaboración propia.

El grafico N°12 muestra que, el precio del oro no converge tan rápidamente a su valor medio histórico como si lo hacen otros metales, pero si se ve una clara tendencia a disminuir dentro de los próximos diez años.

5.2. Estimación de Egresos:

Para poder estimar los egresos, se ha tomado como referencia los datos publicados por la Compañía Minera Poderosa S.A.³¹; empresa aurífera subterránea de mediana minería ubicada en

³¹ Se ha tomado esta empresa como referencia debido a que realiza sus labores de explotación por socavón y debido a que cotiza en la Bolsa de Valores de Lima, haciendo que la información financiera publicada por la empresa sea fiable.

el distrito y provincia de Pataz, a casi 320 Km de la ciudad de Trujillo, en la región La Libertad, Perú.

5.2.1. Compañía Minera Poderosa S.A

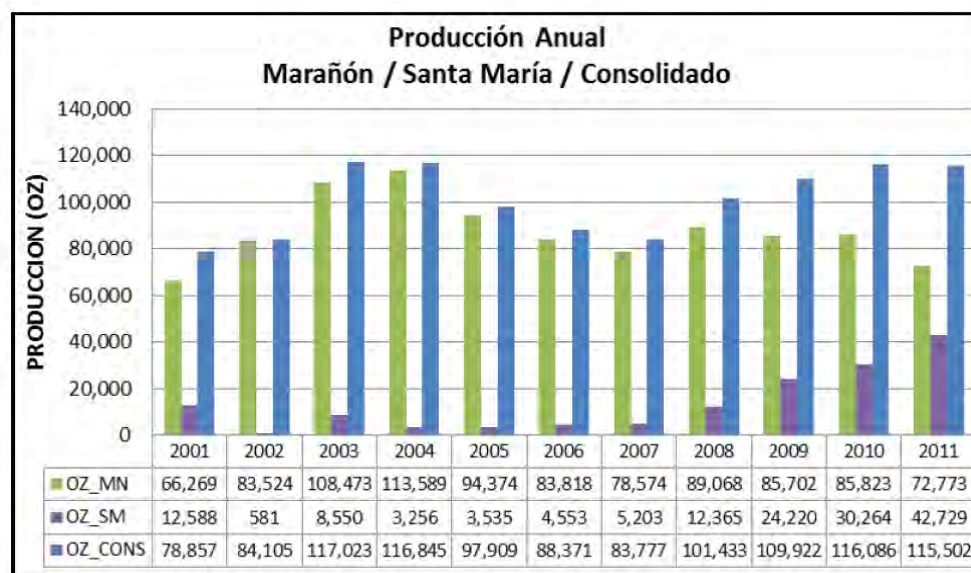
La actividad principal de la compañía es la obtención de recursos minerales, el minado y beneficio mediante la cianuración, precipitación y fundición para obtener oro bullión.

Al año 2011 las reservas de Poderosa ascendían a 408,745 onzas, y la producción ascendió a 115,502 onzas de oro, (ver grafico 13 y 14).



Fuente: Memoria Anual 2011 – Poderosa
Elaboración propia.

**GRAFICO N°14: Producción de oro consolidada (Oz.)
(2001 – 2011)**



Fuente: Memoria Anual 2011 – Poderosa

A través de programas de exploración se identifican, cuantifican y elevan los recursos minerales.

El mineral se obtiene con la prospección geológica apoyada con labores mineras y perforación diamantina tanto superficial como subterránea con longitudes que pueden alcanzar hasta 1,000mts. Finalmente, se realizan labores de confirmación y acceso a los cuerpos mineralizados.

La explotación se realiza combinando métodos convencionales (con rieles) y métodos trackless (sin rieles). Por las características del yacimiento se limpian los tajos y subniveles con winches eléctricos de rastrillaje para acumular mineral en cámaras de donde se extrae con equipos trackless de bajo perfil o en tolvas que descargan en carros mineros.

Los métodos de explotación más utilizados son el de corte y relleno ascendente y el de lonjas verticales combinándolo con el de cámaras y pilares. La relación mineral - desmonte es 1:1, es decir, para enviar una tonelada de mineral a la planta se extrae una tonelada de material estéril (desmonte). El desmonte y material cuaternario de cantera se utiliza en la planta de relleno hidráulico como material del relleno.

**GRAFICO N°15: Principales Indicadores Financieros
(2011 – 2010)**

Principales Indicadores Financieros	2011	2010
EBITDA (US\$ MM)	81.89	68.30
Ventas Netas (US\$ MM)	181.61	144.40
Margen Bruto (%)	55.00	59.00
Margen Operativo (%)	30.00	31.00
Utilidad Antes de Impuestos (US\$MM)	55.04	44.44
Utilidad Neta (US\$ MM)	35.53	28.16

Fuente: Memoria Anual 2011 – Poderosa

En el año 2011, la cotización del oro subió más del 28.3% respecto al 2010. El promedio anual de London PM Fix fue US\$1,571.52 la onza, y el precio más bajo fue US\$1,319.00 en Enero y el más alto US\$1,895.00 en Setiembre.

Tal como lo muestra el grafico N°15, Poderosa es una empresa minera consolidada financiera y económicamente. Solo el año 2010 al 2011, el EBITDA aumentó en 13.59 MM de dólares. Además de contar una evolución de ventas creciente a través de los últimos 10 años.

5.2.2. Estimación de Egresos

Considerando datos históricos de los estados financieros de la empresa se ha proyectado flujos de caja con y sin opción de cierre temporal. Para esto se han tenido las siguientes consideraciones:

Para la proyección del flujo de caja en cada periodo se ha utilizado la siguiente expresión:

$$FC = Ebit_t(1 - t) + dep_t - \Delta CT_t - \Delta Inv_t$$

Donde:

$Ebit_t$: Utilidad antes de intereses e impuestos en el periodo t.

Dep_t : Depreciación del periodo t.

ΔCT_t : Inversión en Capital de Trabajo.

ΔInv_t : Inversión en el periodo T.

t : Tasa impositiva efectiva para la empresa.

- Los datos están expresados en dólares.
- El capital de trabajo se ha tomado como la diferencia entre al activo corriente operativo y el pasivo corriente operativo.
- Para proyectar el EBIT se ha tomado un porcentaje promedio, basado en datos históricos: EBIT/ventas, similar consideración para el capital de trabajo.
- Respecto a la depreciación, se considerada que varía a una tasa de 18.5%, considerando los dos últimos años, 2009 y 2010.
- Para lograr la proyección final de las inversiones, primero se ha proyectado cada uno de sus componentes: obras en curso, cierre de minas, exploración y desarrollo y activos fijos.
- Considerando datos históricos, se ha proyectado los costos de ventas, considerando 70% para costos de ventas fijos y el 30% para costos de ventas variables.
- Para la proyección de los gastos operacionales se ha tomado en cuenta: gastos por exploración y desarrollo, gastos administrativos y gastos de ventas. Para cada uno de estos gastos se ha determinado un porcentaje para gastos fijos y para gastos variables.

- Para determinar los gastos fijos se ha considerado: cargas de personal y tributos y para los gastos variables: cargas diversas de gestión, servicios prestados a terceros y consumo de suministros.
- Los costos de cierre, costos de mantenimiento, y costos de apertura, se han considerado depreciables debido a que no se ha podido realizar estimación de éstos a pesar de consultar diversas fuentes e incluso personas relacionadas con el sector.

6. RESULTADOS

6. RESULTADOS

6.1. Cálculo del valor de la opción de cierre temporal

En cierto tipo de industrias como las de extracción de recursos naturales (minería, petróleo, gas, etc.), de generación de energía eléctrica, o en la planificación y construcción de industrias cíclicas, moda, bienes de consumo, entre otros, existe la posibilidad de detener temporalmente la totalidad del proceso productivo cuando los ingresos obtenidos son insuficientes para hacer frente a los costos y de volver a producir cuando la situación se haya revertido.

Por supuesto, el análisis se puede extender a una serie de cierres y reaperturas según que el precio sea inferior, o superior, a los costes variables; pero, en este caso, se debe considerar que el precio ascienda por encima de una cantidad determinada sobre el coste variable antes de reiniciar la producción con objeto de minimizar el riesgo de que se produzca una pérdida seguidamente y de hacer frente a los costes de reapertura. El mismo caso, pero al contrario se puede decir para el caso de detener la producción.

La opción de cierre temporal se analiza de la siguiente manera:

Si en un periodo de tiempo el precio del oro cae haciendo que el flujo de caja sea negativo entonces pudiese ser recomendable cerrar la mina hasta que los precios suban. Sin embargo, si se cierra la mina aún se tendrá el flujo de caja negativo generado por los costos y gastos fijos.

Entonces, para determinar si es conveniente cerrar temporalmente se compara el flujo de caja generado por la operación con el flujo de caja generado por los costos fijos, si el primero es mayor (es decir menos negativo) entonces aún siendo negativo se continuaría con la operación, mientras que si el flujo de caja generado es menor (más negativo) que el flujo del costo fijo entonces se optaría por cerrar temporalmente la mina hasta que los precios se recuperen.

El flujo de caja del periodo, ya sea porque se opera o porque la mina está cerrada y se “soportan” los costos fijos, vendría dado por la siguiente expresión:

$$FC = \text{MAX} (FCL, FC \text{ costos fijos})$$

Si $FCL > FC \text{ costos fijos}$ entonces la operación continúa, mientras que si $FCL < FC \text{ costos fijos}$ entonces la mina se cierra temporalmente.

Para este ambos casos se ha realizado 10000 simulaciones para calcular el VA. La diferencia entre el VA con opción menos el VA sin opción será el valor de la opción.

$$\text{Valor de la opción} = \text{VA con opción de cierre} - \text{VA sin opción de cierre}$$

6.2. Resultados Obtenidos

En la proyecciones realizadas de flujos de caja, tanto para el escenario alcista como para el bajista se ha considerado la tasa libre de riesgo que se aproxima a 4.8%, que es la tasa de rendimiento de los bonos soberanos peruanos¹ emitidos en PEN, para un plazo de 18 años.

Después de realizar 10000 simulaciones los resultados obtenidos son:

- Escenario alcista²:

Valor esperado	Sin opción	Con opción
$E(VA)^3$ USD M	-99,203	52,307

El valor de la opción sería de 151,510 M USD, que es la diferencia entre ambos valores.

¹ Utilizamos los bonos soberanos peruanos, apoyándome en la opinión de la economista del Departamento de Investigación para América Latina del Credit Suisse, Carola Sandy, quien recomienda el posicionamiento sobre bonos soberanos peruanos; “Estamos a favor de los bonos soberanos de corto plazo (en soles), donde los rendimientos están bien anclados por la estabilidad de la moneda y la política monetaria que ejerce el Banco Central de Reserva (BCR)”

² Ver anexos 8 y 9.

³ $E(VA)$: Esperanza del valor actual

- Escenario bajista⁴:

Valor esperado	Sin opción	Con opción
E(VA) USD MM	-119,118	38,994

El valor de la opción, para este caso, sería de 158,112 M USD.

Se puede apreciar, en ambos casos, que la opción de cierre temporal mejora los resultados, ya que se obtiene un mayor VA, asimismo se aprecia que el valor de la opción en el caso bajista es mucho mayor que para el caso alcista, lo cual resulta razonable, dado que en el caso los precios bajen demasiado será preferible parar las operaciones e iniciarlas nuevamente, cuando las condiciones cambien; aunque se tendría que afrontar costos de mantenimiento y el impacto social y económico que se ocasionaría en la comunidad.

⁴ Ver anexos 5 y 6.

7. CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

7.1. Respecto al modelo.

- En esta tesis se analizó una especificación general de un modelo estocástico unifactorial de precios de commodities aplicada al caso del oro. El modelo propuesto tiene la ventaja que permite extender sin dificultad la mayoría de los modelos de precios de commodities que han sido propuestos en la literatura. Se realizó además un análisis de identificación de los parámetros que permitió desarrollar una representación canónica¹ del modelo de precios. Esta representación contiene el mínimo número de parámetros y permite obtener soluciones únicas. Esto contrasta con la mayoría de los modelos de precios propuestos en la literatura, en los cuales se llega algunas veces a fórmulas de valorización bastante complejas.
- Las estimaciones empíricas realizadas a partir de observaciones mensuales de precios spot del oro, permitieron analizar el comportamiento del modelo propuesto. El análisis fue realizado considerando la estructura de volatilidad empírica.
- A pesar de la simpleza del modelo de precios estimado se logró obtener parámetros coherentes para ser utilizados en la valorización de la opción.
- El procedimiento de estimación de los parámetros del modelo no es sofisticado, se basa en regresiones por mínimos cuadrados utilizando las series históricas de precios, sin embargo logra ser coherente con el nivel de aplicación que se postuló.

¹ Es decir que pertenece a la estructura propia de lo que estamos estudiando.

- La velocidad de reversión a la media encontrada, no es tan veloz como lo es para otros commodities, como por ejemplo el cobre o el petróleo, sin embargo la velocidad encontrada coincide con lo esperado².

7.2. Respecto al proceso de valorización de la opción de cierre temporal.

- Evaluar proyectos mediante el enfoque de opciones reales, permite valorizar en su real magnitud los beneficios económicos asociados a un proyecto de inversión, debido a que se tiene en cuenta el trinomio rentabilidad – riesgo – flexibilidad, integrando la perspectiva estratégica y el análisis financiero de valoración de proyecto, así esta metodología no sólo permite valorar los proyectos sino también incorporar el pensamiento estratégico.
- Las condiciones de incertidumbre de los mercados, a nivel mundial obligan a los tomadores de decisión a utilizar nuevas formas de evaluación de sus inversiones. En este sentido, la metodología desarrollada contribuye a demostrar el efecto y el impacto que pueden tener en las decisiones estratégicas la correcta cuantificación de las variables inciertas de los mercados de commodities.
- Bajo supuestos validos, a la empresa le resulta beneficioso detener sus operaciones cuando el precio cae y retomar las operaciones cuando los precios suban nuevamente. Aunque se debe de tener en cuenta de que no se han considerado los costos de cierre, mantenimiento y apertura, así como los costos sociales³ que implicaría suspender la actividad minera.
- De acuerdo a los resultados encontrados podemos afirmar que la valorización a través de opciones reales añade valor a la empresa, pues se demuestra que la incertidumbre juega un rol importante en las oportunidades de inversión, por el contrario, si hubiéramos encontrado un

² Como por ejemplo los resultados encontrados en Brennan y Schwartz (1985).

³ Ver anexo N°10

mayor nivel de reversión a la media menor hubiese sido el valor de la oportunidad de inversión.

- Además de valorizar un proyecto de inversión, el análisis de opciones reales puede determinar, también, la política óptima que maximiza el valor del proyecto.
- La aplicación de opciones reales implementa un procedimiento numérico conocido, que va de la mano con el modelo de precios elegido, por lo tanto, se dejan de lado variables que pueden resultar relevantes en una evaluación de inversiones más rigurosa.
- La aplicación de los conceptos de finanzas modernas en mercados de commodities, puede resultar muchas veces compleja y muy sofisticada, sin embargo, la metodología presentada logra ser simple, encontrándose resultados interesantes y coherentes que permiten ser un apoyo en la toma de decisiones de inversión en proyectos mineros.
- Para este caso la simulación por Montecarlo parece ser el mejor método para valorar, ya que la opción puede ser ejercida en varios periodos de tiempo.

Finalmente:

- Uno de los objetivos relevantes en la elaboración de una Tesis es enriquecer líneas de investigación y proponer diferentes caminos para trabajos futuros. El presente trabajo ha intentado converger conceptos de finanzas modernas con mercados de commodities, por lo tanto, los trabajos futuros propuestos podrían seguir esta línea de investigación. Por ejemplo, mejorando el modelamiento de los precios a través de un modelo de precios desarrollado en particular para las características dinámicas del mercado del oro, integrando conceptos de análisis econométrico y de procesos estocásticos de mayor sofisticación. En este sentido, modelar la estructura de volatilidad con un proceso no estacionario, incluyendo el

modelamiento de los saltos que afectan los precios y los efectos periódicos mejorando eventualmente el procedimiento de estimación.

8. BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA

Bailey, W, Bhandari, A, Faiz, S, Srinivasan, S and Weeds, H, 2004. Unlocking the value of real options, *Oilfield Review*, pp 4-19.

Barría Quezada, Carlos Eduardo (2008). Inversiones bajo incertidumbre en Generación Eléctrica: Aplicación de opciones reales y modelos de precios. Pontificia Universidad Católica de Chile – Escuela de Ingeniería.

Brenan, Michael J., Schwartz, Eduardo S. (Abril 1985). Evaluatting Natural resource investments. *The Journal of Business*, Vol 58, N°2, 135-157.

Cassimona D., De Backer, M., Engelen, P.J., Van Wouwee, M., Yordanov, V. Incorporating technical risk in compound real option models to value a pharmaceutical R&D licensing opportunity. *Research Policy*, pages 1200-1216.

Centono Rojas, Adolfo (2007). Hacienda viable la minería peruana. El caso de minera Gold Land. Universidad ESAN.

Colwell, David B., Henker, Thomas y Ho, John (December 19, 2002). Real Options Valuation of Australian Gold Mines and Mining Companies. *University of New South Wales (UNSW) - School of Banking and Finance, Bond University. Working Paper Series*

Costa Lima, Gabriel A., Suslick, Saul B. (Junio 2006). Estimating the volatility [of mining projects considering price and operating cost uncertainties](#). *Resources Policy*, Volume 31, Issue 2, Pages 86-94.

Cortazar, Gonzalo. Casassus, Jaime (1998). Optimal timing of a mine expansion: Implementing a real options model. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, Volume 38, Issue 3, Pages 755-769.

De la Fuente Herrera, Gabriel (1999). Las opciones reales en la decisión de inversión. Propuesta y aplicación de un modelo de valoración al caso de una multinacional española. Universidad de Valladolid.

Fernandez, Pablo (July 20, 2001). Valuing Real Options: Frequently Made Errors. *University of Navarra - IESE Business School, Working Paper Series*.

García de la Vega, Victor y Ruiz-Porrás, Antonio (2009). Stochastic models for the spot and future prices of commodities with high volatility and mean reversion. Universidad de Guadalajara, CUCEA.

Gorton, Gary, Rouwenhorst, K. Geert (2005). Facts and Fantasies about Commodity Futures. *Working Paper*.

Graham A. Davis, Estimating volatility and dividend yield when valuing real options to invest or abandon. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, Volume 38, Issue 3, Part 2, 1998, Pages 725-754.

Guj, Pietro. (2011). [A practical real option methodology for the evaluation of farm-in/out joint venture agreements in mineral exploration](#). *Resources Policy*, Volume 36, Pages 80-90.

Heimilich M. Erik (2009). Incorporación de riesgo a la evaluación de proyectos mineros. Dirección de Estudios y Políticas Públicas. Comisión chileno del cobre.

Lamothe, Prosper (Abril 2007). Real Options Valuation of a Wind Farm. *Working paper*.

Moel, Alberto y Tufano, Peter, (2000). When are real options exercised? An Empirical study of mine closings. *Working Paper*.

Moel, Alberto y Tufano, Peter. Bidding for the Antamina Mine: Valuation and Incentives in a Real Options Context. *Working Paper*.

Palomares, Juan (2010). Modelo de valoración de la inversión en una central eléctrica mediante opciones reales. Universidad Pontificia Comillas – Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI).

Quigg, Laura (1993). Empirical Testing of Real Option-Pricing Models. *The Journal of Finance*, Vol. 48, No. 2. pp. 621-640.

Rincón, Luis (2011). Introducción a los procesos estocásticos. Departamento de matemáticas – Facultad de Ciencias Unam; capítulo IX.

Roussos G. Dimitrakopoulos, Sabry A. Abdel Sabour, (Junio 2007). Evaluating mine plans under uncertainty: Can the real options make a difference? Department of Mining, Metals and Materials Engineering, McGill University. Resources Policy.

Schwartz, Eduardo S. (1997). The stochastic behavior of commodity prices: Implications for valuation and hedging. *The Journal of Finance*, Vol 52, N°3.

Shafiee, S. Topal, E. Nehring, M. (April 2009). Real Option Valuation to Maximise Mining Project Value- A Case Study Using Century Mine. *Working Paper*.

Slade, Margaret E. Valuing Managerial Flexibility: An Application of Real-Option Theory to Mining Investments. *Journal of Environmental Economics and Management*, pages 193-233.

Smith, William. (Febrero 2012). On the simulation and estimation of the mean-reverting Ornstein – Uhlenbeck Process. Especially applied to commodities markets and modeling. Working Paper.

Truppta, Juan Manuel, (2009). Estimando mean reversion para Pairs Trading. Working Paper.

Tserlukevich, Yuri (Agosto 2008). Can real options explain financing behavior? *Journal of Financial Economics*, Volume 89, Issue 2, pp 232-252.

Tsekrekos, Adrianos E., (Noviembre 2009). The effect of mean reversion on entry and exit decisions under uncertainty. *Journal of Economics Dynamics and Control*, páginas 725-742.

Páginas Web consultadas:

- www.kitco.com
- www.gestion.com
- www.poderorsa.com
- www.smv.com
- www.bvl.com
- www.smpe.com
- www.elcomercio.com
- www.minerals.usgs.gov

9. *ANEXOS*

ANEXO N°01:

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE OPCIONES FINANCIERAS

1. *Opciones de Compra, Opción Call.*

- Opciones Call: son opciones de compra. Su posesión da el derecho a comprar un determinado activo al precio de ejercicio K, durante un determinado tiempo t, independientemente del precio del subyacente en el mercado S. Al vencimiento de la opción se elegirá entre: $\text{Max}(S-K; 0)$.
- Es decir, si el precio de mercado es superior al precio de compra pactado, se ejercerá la opción y se comprará el activo generando un ingreso por la diferencia entre el precio del mercado y el precio de ejercicio.
- En el caso de que el precio de mercado sea inferior al precio de compra pactado, no se ejercerá la opción con lo cual su valor será de 0.

Opciones de Venta, Opción Put.

- Opciones Put: son opciones de venta. Otorga el derecho a vender un activo al precio de ejercicio K, durante un tiempo t, independientemente del precio S, de mercado del Subyacente. La regla de optimización en este caso es: $\text{Max}(K-S; 0)$.
- Por lo que si el precio de mercado del activo es inferior al precio de venta pactado, se ejercerá la opción generando un ingreso por la diferencia entre el precio de ejercicio, K y el precio del subyacente S.

Si el precio de la acción supera al precio de ejercicio, se utiliza la expresión “in the Money” en relación con una opción de compra. Si es muy superior al precio de ejercicio de la opción, se emplea la expresión “deep in the Money”. Si el precio de la acción no llega a alcanzar el precio de ejercicio de la opción, se utiliza la expresión “out of the Money” en relación

con la opción. Un inversionista no ejercería una opción del tipo “out the Money” ya que hacerlo costaría más que el precio de mercado para la acción.

Aquí es donde cabe la advertencia de que el tomador de opciones tiene el derecho pero no la obligación de comprar la acción al precio de ejercicio de la opción. El inversionista deja la opción caduque si el ejercicio de su derecho no le resulta beneficioso.

Las opciones tienen dos características importantes. En primer lugar, brindan al tomador de opciones la posibilidad de obtener una gran ganancia al alza, protegiéndose al mismo tiempo del riesgo de *downside*. En segundo lugar, tienden más valor cuando la incertidumbre y el riesgo son mayores.

Las opciones financieras pueden clasificarse como europeas o americanas. Las opciones europeas sólo pueden ser ejercidas en una determinada fecha de vencimiento, es decir, el poseedor de este tipo de activos sólo puede tomar la decisión una vez completado el tiempo hasta el vencimiento de la opción. En cambio, los activos de carácter americano entregan el derecho de ser ejercidos en cualquier momento durante el periodo antes de la fecha de expiración, en otras palabras, en cada oportunidad de ejercicio, el poseedor de la opción compara el beneficio de ejercer inmediatamente con el pago esperado de continuar.

ANEXO N°02:

TEST DE RAÍCES UNITARIAS: AUGMENTED DICKEY – FULLER.

Null Hypothesis: R_ORO has a unit root
Exogenous: Constant
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=2)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-11.77948	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.474567	
5% level	-2.880853	
10% level	-2.577147	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(R_ORO)
Method: Least Squares
Date: 11/21/12 Time: 08:41
Sample (adjusted): 2000M01 2012M05
Included observations: 149 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
R_ORO(-1)	-0.971042	0.082435	-11.77948	0.0000
C	0.012060	0.003409	3.537654	0.0005
R-squared	0.485575	Mean dependent var		2.33E-05
Adjusted R-squared	0.482076	S.D. dependent var		0.055162
S.E. of regression	0.039698	Akaike info criterion		-3.601678
Sum squared resid	0.231667	Schwarz criterion		-3.561357
Log likelihood	270.3250	Hannan-Quinn criter.		-3.585296
F-statistic	138.7561	Durbin-Watson stat		1.981692
Prob(F-statistic)	0.000000			

El test de raíces unitarias, nos muestra que el valor absoluto obtenido (11.77), es mayor que los valores críticos (3.47, 2.88, 2.57) de la tabla MacKinnon, además tiene una probabilidad menor a 5% ($0\% < 5\%$), por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, es decir se rechaza la presencia de raíces unitarias siendo la serie estacionaria.

ANEXO N°03:

ESTIMACIÓN POR MÍNIMOS CUADRADOS ORDINARIOS DE LA VELOCIDAD DE REVERSIÓN.

Modelo	Coeficientes ^{a,b}								
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B		Estadísticos de colinealidad	
	B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior	Tolerancia	FIV
1 L_PORO	,002	,001	,301	3,833	,000	,001	,003	1,000	1,000

a. Variable dependiente: r_oro

b. Regresión lineal a través del origen

ANEXO N°04:

ESCENARIO BAJISTA: PROYECCIÓN DE PRECIOS

N° de simulación	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,650	1,647	1,644	1,643	1,641	1,638	1,637	1,635	1,634	1,634	1,631
2	1,650	1,649	1,646	1,645	1,644	1,641	1,637	1,634	1,632	1,629	1,627
3	1,650	1,648	1,646	1,643	1,640	1,637	1,634	1,634	1,631	1,628	1,626
4	1,650	1,650	1,647	1,642	1,641	1,637	1,637	1,634	1,630	1,627	1,627
5	1,650	1,647	1,646	1,645	1,644	1,641	1,641	1,640	1,640	1,639	1,635
6	1,650	1,646	1,642	1,639	1,635	1,634	1,632	1,629	1,628	1,627	1,624
7	1,650	1,647	1,646	1,642	1,642	1,639	1,635	1,632	1,631	1,629	1,629
8	1,650	1,648	1,646	1,645	1,644	1,643	1,642	1,642	1,639	1,637	1,636
9	1,650	1,650	1,650	1,649	1,648	1,646	1,643	1,640	1,639	1,638	1,637
10	1,650	1,650	1,649	1,646	1,645	1,644	1,640	1,639	1,636	1,635	1,632
11	1,650	1,649	1,648	1,647	1,644	1,641	1,640	1,636	1,635	1,634	1,632
12	1,650	1,646	1,642	1,640	1,637	1,634	1,631	1,628	1,626	1,626	1,625
13	1,650	1,646	1,643	1,640	1,636	1,635	1,634	1,632	1,629	1,626	1,624
14	1,650	1,646	1,643	1,640	1,638	1,636	1,634	1,630	1,630	1,629	1,629
15	1,650	1,646	1,645	1,644	1,643	1,641	1,641	1,639	1,637	1,634	1,631
16	1,650	1,649	1,647	1,647	1,643	1,640	1,637	1,636	1,635	1,635	1,632
17	1,650	1,647	1,646	1,643	1,641	1,639	1,638	1,637	1,633	1,632	1,628
18	1,650	1,646	1,642	1,639	1,636	1,632	1,630	1,630	1,628	1,624	1,623
19	1,650	1,649	1,645	1,642	1,638	1,634	1,631	1,630	1,628	1,627	1,626
20	1,650	1,648	1,647	1,645	1,642	1,641	1,639	1,636	1,635	1,635	1,634

ANEXO N°05:

ESCENARIO BAJISTA: PROYECCIÓN FLUJOS DE CAJA, SIN OPCIÓN DE CIERRE TEMPORAL

N° de simulación	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	110,484	97,368	62,646	62,361	47,448	33,484	-23,231	-55,106	-137,597	-144,809	-179,151
2	103,343	71,917	50,132	48,325	1,917	-37,875	-91,087	-197,426	-318,551	-395,401	-709,403
3	96,780	86,440	60,295	26,490	65,365	38,211	-71,140	-15,207	-147,029	-344,022	-231,867
4	113,674	94,709	85,959	44,069	42,164	-9,538	-28,119	-95,104	-158,247	-297,294	-425,701
5	111,657	88,043	87,073	78,514	57,147	36,495	11,267	-36,399	-62,830	-101,451	-146,716
6	100,610	75,965	50,494	19,906	8,967	-13	-88,156	-149,532	-249,203	-104,719	-242,057
7	99,112	94,554	68,986	45,786	22,116	-51,056	-21,129	-166,063	-246,866	-424,103	-787,814
8	112,540	100,390	81,290	44,209	46,342	6,762	-53,896	-47,191	-109,574	-104,694	-234,433
9	96,140	93,664	85,571	34,193	-8,492	-45,826	-21,316	-106,115	-82,788	-330,490	-139,345
10	114,637	84,354	67,441	84,124	51,265	-21,102	-23,847	-110,447	-37,154	-161,901	-130,641
11	114,941	89,144	65,342	52,368	23,756	35,180	-26,416	-101,437	-189,347	-317,683	-265,111
12	109,373	89,104	71,208	54,156	33,527	-14,333	-38,564	-34,743	-79,578	-150,778	-137,941
13	95,530	101,878	59,518	64,950	20,480	-37,268	-111,305	-18,579	-207,482	-296,618	-496,913
14	108,265	100,493	68,795	29,301	-5,427	-62,625	-60,975	-34,996	-147,494	-133,540	-388,700
15	101,390	70,903	48,513	31,328	43,239	-42,931	-10,508	-92,406	-155,395	-194,512	-151,633
16	111,614	85,730	56,424	30,923	-2,685	-38,600	-55,354	-58,733	-120,926	-268,901	-384,060
17	94,352	108,920	87,013	55,211	50,051	-4,353	-57,737	-92,152	-96,355	-34,565	-236,797
18	103,126	72,573	40,758	39,000	3,033	-73,479	-7,546	-78,174	-201,462	-433,298	-316,170
19	100,389	93,781	67,675	10,463	-23,123	-15,777	-128,362	-228,425	-378,303	-499,127	-452,169
20	113,228	83,677	67,917	67,254	18,301	8,815	-30,313	-1,024	-32,930	-104,338	-243,716

ANEXO N°06:

ESCENARIO BAJISTA: PROYECCIÓN FLUJOS DE CAJA, CON OPCIÓN DE CIERRE TEMPORAL

N° de simulación	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	110,476	95,474	65,732	82,194	65,880	43,804	-30,312	-41,379	-91,183	-103,261	-115,531
2	103,481	79,259	57,192	51,999	6,005	-40,862	-66,302	-81,404	-94,343	-111,430	-133,441
3	96,791	81,996	50,673	17,713	63,889	30,444	-76,551	-52,043	-98,188	-112,586	-120,713
4	113,614	87,979	83,328	41,470	44,047	-14,684	-14,619	-69,349	-92,013	-111,630	-140,175
5	111,434	88,608	92,065	82,355	65,904	50,493	31,931	-18,944	-50,693	-76,396	-86,117
6	100,563	90,997	76,979	48,831	27,157	9,096	-84,218	-94,962	-106,363	-123,840	-128,443
7	99,156	84,684	65,873	31,187	-7,460	-75,714	-51,130	-99,713	-116,585	-126,682	-146,889
8	112,516	99,414	86,759	47,644	49,533	7,926	-49,785	-52,273	-104,590	-99,875	-126,873
9	96,122	97,896	88,535	42,995	9,588	-16,596	17,999	-49,887	-30,927	-93,276	-73,987
10	114,623	75,600	50,677	50,150	8,738	-69,931	-64,959	-121,812	-87,124	-157,324	-193,937
11	114,736	82,029	56,748	52,760	31,195	30,421	-26,089	-85,572	-95,482	-115,755	-130,378
12	109,227	91,111	73,252	56,255	61,354	15,495	-4,199	5,559	-40,633	-104,522	-105,504
13	95,463	102,322	56,620	50,450	-776	-58,396	-86,462	-10,050	-98,173	-101,789	-113,416
14	108,236	100,286	64,657	24,220	3,018	-53,146	-32,376	-21,260	-115,857	-133,693	-170,416
15	101,403	71,922	45,853	17,247	23,136	-46,737	-11,704	-88,758	-100,144	-111,025	-112,869
16	111,484	90,873	63,073	38,847	2,412	-19,026	-16,041	6,051	-86,841	-146,585	-164,928
17	94,387	101,610	83,075	60,692	55,692	-2,317	-62,600	-77,838	-91,538	-68,611	-132,744
18	103,023	81,075	46,591	38,791	9,644	-70,588	7,394	-82,865	-113,841	-124,521	-135,324
19	100,525	95,328	71,038	30,145	9,500	33,384	-60,904	-112,689	-130,424	-151,181	-183,353
20	113,208	79,852	61,358	63,171	2,277	-19,749	-51,086	-46,325	-81,886	-158,632	-193,274

ANEXO N°07:

ESCENARIO ALCISTA: PROYECCIÓN DE PRECIOS

N° de simulación	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,650	1,652	1,659	1,661	1,663	1,667	1,671	1,677	1,684	1,687	1,687
2	1,650	1,654	1,655	1,659	1,663	1,670	1,673	1,675	1,680	1,686	1,691
3	1,650	1,657	1,659	1,663	1,669	1,671	1,677	1,683	1,683	1,687	1,692
4	1,650	1,656	1,661	1,663	1,668	1,670	1,675	1,678	1,683	1,686	1,689
5	1,650	1,652	1,653	1,654	1,655	1,659	1,665	1,670	1,674	1,680	1,685
6	1,650	1,657	1,659	1,665	1,666	1,673	1,676	1,677	1,677	1,683	1,689
7	1,650	1,651	1,651	1,657	1,661	1,667	1,668	1,672	1,677	1,681	1,683
8	1,650	1,656	1,659	1,663	1,665	1,667	1,673	1,680	1,682	1,685	1,689
9	1,650	1,653	1,657	1,657	1,663	1,666	1,666	1,670	1,676	1,677	1,682
10	1,650	1,652	1,654	1,661	1,663	1,668	1,673	1,674	1,681	1,685	1,692
11	1,650	1,656	1,660	1,661	1,665	1,666	1,668	1,671	1,672	1,675	1,681
12	1,650	1,652	1,656	1,661	1,665	1,667	1,670	1,672	1,678	1,679	1,682
13	1,650	1,651	1,658	1,660	1,667	1,668	1,670	1,677	1,678	1,684	1,686
14	1,650	1,653	1,657	1,658	1,660	1,662	1,668	1,673	1,679	1,686	1,693
15	1,650	1,657	1,661	1,668	1,673	1,675	1,681	1,685	1,687	1,691	1,693
16	1,650	1,656	1,661	1,666	1,672	1,674	1,675	1,682	1,684	1,689	1,694
17	1,650	1,651	1,655	1,657	1,663	1,668	1,668	1,668	1,672	1,675	1,678
18	1,650	1,650	1,651	1,657	1,664	1,666	1,670	1,671	1,677	1,683	1,688
19	1,650	1,651	1,658	1,660	1,668	1,671	1,672	1,677	1,678	1,683	1,686
20	1,650	1,656	1,660	1,660	1,663	1,663	1,669	1,670	1,669	1,672	1,675

ANEXO N°08:

ESCENARIO ALCISTA: PROYECCIÓN FLUJOS DE CAJA, SIN OPCIÓN DE CIERRE TEMPORAL

N° de simulación	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	110,569	97,125	64,665	81,106	59,931	51,772	301	-19,058	-86,052	-88,373	-71,216
2	103,443	78,696	51,391	29,361	-14,291	-70,213	-135,467	-239,418	-361,278	-479,219	-773,609
3	96,814	83,261	53,758	10,146	42,089	13,768	-79,796	-40,727	-155,132	-361,813	-263,778
4	113,665	87,276	71,720	34,695	52,142	-1,903	-4,269	-69,875	-110,838	-239,971	-358,340
5	111,472	87,033	87,850	71,529	54,036	33,710	16,113	-37,419	-67,055	-92,913	-160,120
6	100,574	75,828	60,394	27,205	13,912	2,890	-96,374	-159,606	-259,626	-123,985	-265,806
7	99,243	82,065	72,984	57,076	36,352	-42,323	-5,043	-126,949	-203,246	-376,541	-732,744
8	112,519	108,531	98,637	78,391	84,469	50,427	-13,767	-21,202	-71,454	-52,337	-169,302
9	96,222	90,433	88,502	32,494	552	-34,952	-944	-88,812	-70,084	-310,863	-153,404
10	114,782	83,968	51,828	64,230	43,204	-16,658	-15,541	-118,337	-48,315	-164,761	-111,488
11	114,916	87,672	59,825	60,529	29,398	36,308	-17,718	-96,001	-176,826	-292,372	-230,911
12	109,201	90,767	74,063	58,381	42,769	11,108	6,111	15,381	-23,855	-97,668	-80,567
13	95,537	95,166	54,610	55,585	7,410	-50,699	-117,390	-29,039	-218,541	-325,807	-555,242
14	108,201	101,408	69,558	39,659	18,424	-29,428	-17,107	-12,499	-139,417	-126,414	-362,773
15	101,484	80,780	63,049	37,325	38,740	-34,529	-6,400	-94,601	-166,253	-228,006	-205,089
16	111,593	94,926	69,819	61,946	25,263	1,797	1,602	24,705	-51,590	-207,404	-340,251
17	94,269	107,329	81,178	56,029	50,836	1,682	-52,918	-92,240	-111,460	-50,555	-245,482
18	103,154	75,527	50,633	53,832	19,815	-59,628	9,485	-52,492	-161,713	-357,780	-200,914
19	100,520	101,546	77,823	29,660	13,954	50,523	-32,288	-100,781	-211,398	-297,087	-187,850
20	113,138	88,441	75,918	79,773	29,509	14,660	-32,245	-24,544	-40,539	-89,972	-233,681

ANEXO N°09:

ESCENARIO ALCISTA: PROYECCIÓN FLUJOS DE CAJA, CON OPCIÓN DE CIERRE TEMPORAL

N° de simulación	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	110,630	93,379	59,253	61,736	47,947	39,111	-15,141	-39,116	-104,633	-100,897	-85,971
2	103,308	86,320	62,011	49,446	7,386	-41,899	-81,699	-93,109	-117,134	-131,231	-148,056
3	96,866	86,380	60,882	25,428	62,847	22,251	-81,490	-41,104	-93,916	-105,618	-113,525
4	113,639	93,580	87,232	45,937	45,565	-15,933	-18,420	-88,166	-117,529	-140,005	-164,147
5	111,453	86,947	85,495	64,507	41,463	23,097	-17,199	-80,867	-112,157	-121,521	-141,179
6	100,613	79,023	59,386	37,752	33,395	18,293	-71,559	-99,320	-125,087	-151,044	-161,750
7	99,225	85,517	65,661	32,619	5,613	-73,407	-37,280	-87,436	-104,238	-111,295	-132,257
8	112,410	100,589	80,318	52,312	59,278	17,478	-37,823	-33,463	-103,696	-82,987	-133,796
9	96,139	94,828	89,063	39,601	3,391	-38,448	-5,792	-76,421	-66,913	-123,725	-151,214
10	114,807	83,895	60,082	74,616	58,256	-134	7,453	-64,213	-10,913	-86,998	-60,563
11	114,944	83,983	54,229	44,249	-284	-12,848	-64,922	-125,215	-154,406	-162,720	-202,765
12	109,211	80,827	60,558	60,060	59,663	16,727	-9,936	-15,601	-79,597	-141,862	-163,758
13	95,464	103,444	65,114	64,475	17,777	-26,552	-64,181	2,970	-93,330	-98,315	-123,000
14	108,287	103,218	71,623	36,533	20,162	-15,836	-2,361	2,161	-95,941	-113,849	-129,488
15	101,563	70,945	58,693	32,345	47,275	-35,922	1,994	-74,993	-91,526	-107,655	-122,862
16	111,626	89,093	60,273	37,969	-3,892	-47,836	-38,212	-27,281	-101,595	-153,724	-163,192
17	94,479	105,799	81,338	42,186	47,292	-9,955	-70,071	-87,976	-94,150	-74,886	-140,626
18	103,048	81,295	63,467	64,453	28,054	-43,013	48,448	-29,907	-93,306	-115,653	-142,651
19	100,331	100,730	83,952	40,385	29,314	53,819	-27,921	-77,251	-91,864	-94,606	-116,137
20	113,127	80,088	65,389	56,383	8,926	-4,511	-37,012	-8,447	-44,611	-95,174	-112,268

ANEXO 10

BREVE ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL CIERRE DE UNA UNIDAD MINERA EN LA COMUNIDAD.¹

La minería juega un rol importante en la economía peruana a través de la generación de valor agregado, divisas, impuestos, inversión y empleo. A nivel departamental, la importancia de la minería se hace evidente en su participación en la actividad económica, la transferencia de canon minero y la promoción de recursos para el desarrollo a través de aportes directos de recursos. A nivel nacional, en un contexto de altos precios internacionales de los minerales, la minería ha experimentado un alto dinamismo que se evidenció en la provisión de divisas a la economía, la generación de ingresos fiscales por impuestos regalías mineras, la creación de empleos directos e indirectos, y el incremento del crecimiento potencial de la economía. Esta actividad genera encadenamientos económicos en otras ramas productivas, evidenciando que los niveles de producción de estas están en parte determinados por la evolución de la minería. A partir de estos múltiples canales de transmisión es que se puede entender la importancia de este sector y su relevancia como determinante del nivel de vida de los hogares.

En el caso de cierre de minas, los primeros impactos se verían reflejados en los niveles de pobreza e ingresos, salud y educación, infraestructura social y en las percepciones que los jefes de familia tienen respecto a sus condiciones de vida.

Los niveles de pobreza e ingresos se verían claramente afectados, pues tanto el ingreso per cápita mensual y el ingreso laboral per cápita mensual son superiores para las familias que viven en zonas mineras frente a las que viven zonas sin minería. El lo que respecta a niveles de pobreza, argumentamos que tanto la pobreza total como la extrema, empezarían a aumentar paulatinamente. Cabe destacar que si bien es cierto que, en el caso de cierre de minas, los ingresos generados por la actividad minera se reducen, los ingresos generados por las actividades agrícolas desempeñadas por las familias, no se ven afectadas significativamente.

En cuanto a los niveles de salud, podemos argumentar que los casos de enfermedades crónicas o eventuales disminuirían. En educación, se evidenciarían un aumento en los niveles de

¹ Análisis en base al estudio realizado por MACROCONSULT: “Impacto económico de la minería en el Perú” – Junio 2012.

analfabetismo y se aumentarían los casos de retraso escolar, sobre todo en los niños en etapa escolar.

Finalmente, en infraestructura social las comunidades en zona de minería tienen mayor y mejor acceso a servicios de telefonía, servicios de agua, luz y desagüe, y si bien es cierto que no dejarían de tenerlo cuando la mina cerrará, se estarían privando de acceder a nuevas tecnologías.

Como podemos ver la minería juega un rol importante en el desarrollo de las comunidades con acceso a esta actividad. Es por eso que al momento de evaluar el cierre temporal o definitivo de la mina es imprescindible tener en cuenta el impacto socioeconómico que se generaría sobre la población. Para esta investigación no se ha tenido en cuenta estos costos pero, se puede tomar como trabajo futuro a fin de poder incorporar mayor realismo a las estimaciones.