



UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingenierías

Departamento de Ingeniería Civil y Minas



Análisis de sensibilidad y Los efectos de la inflación en la
evaluación de proyectos mineros.

Disertación

Que para obtener el título de
Ingeniero Minero

Presentan:

Sukai Alfaro Navarro

Norman Alejandro Roa Mendivil

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

INTRODUCCION

El siguiente trabajo tiene como finalidad ser material de apoyo para los alumnos de ingeniería en los temas de las asignaturas de la carrera de Ingeniero Minero, como Evaluación de proyectos Mineros.

Estos temas son de gran importancia como herramientas para la toma de decisiones en la evaluación de los proyectos mineros al definir si un proyecto es viable o no.

Este trabajo se realizó traduciendo un manual siendo este una recopilación de diferentes libros y autores, especialistas en áreas de Economía, Minería e Ingeniería.

ÍNDICE

I.- Análisis de sensibilidad y Punto de equilibrio

1.1. Introducción	1
1.2. Análisis de Sensibilidad para Evaluación de Proyectos	2
1.3. Ejemplo de Desarrollo de Proyecto de Oro	6
1.4. Presentación Gráfica	10
1.5. Análisis de Punto de Equilibrio	13
1.6. Variaciones Simultáneas de las Variables de Entrada	14
1.7. Otras áreas de aplicación	17
1.8. Resumen	18

II.- Efectos de la Inflación en Proyectos de Evaluación de Minería.

2.1. Introducción	20
2.2. Medición de la Inflación	21
2.3. Efecto sobre el Costo de Capital de la Deuda	24
2.4. Efectos en los indicadores de Flujo de Efectivo Descontado	27

2.5. Efectos sobre la evaluación antes de impuestos de los proyectos mineros	30
2.6. Relación entre las tasas de moneda constante y moneda corriente	33
2.7. Efectos en los gastos de capital después de impuestos	34
2.8. Efectos en la Evaluación de Proyectos de Minería después de impuestos	35
2.9. Proyecto de Desarrollo de Oro	39
2.10. Procedimiento de evaluación recomendado	39
III.- Referencias	44

Figuras y tablas.

I.- Análisis de sensibilidad y Punto de equilibrio

Tabla 1:	Sensibilidad de la tasa de retorno para costos de energía de proyecto el faro.	1
Tabla 2:	Sensibilidad de la tasa de retorno para el precio del metal de proyecto el faro.	1
Tabla 3:	Valores de las variaciones del caso base	7
Tabla 4:	Resultados de Análisis de Sensibilidad para Proyecto de Desarrollo de Oro.	8
Tabla 5:	Variaciones en Valor Presente Neto	11
Figura 1:	Sensibilidad del valor presente neto a posibles cambios en las variables de entrada.	12
Tabla 6:	Valores de punto de equilibrio para las seis variables clave requieren obtener una tasa de retorno del 8%	13
Figura 2:	Análisis de Sensibilidad variaciones simultaneas del precio del oro y ley de la reserva.	16

Análisis de sensibilidad y punto de equilibrio.

Introducción

Hasta ahora, nuestro enfoque a la evaluación de proyectos de minería ha sido basado en estimaciones puntuales de los parámetros del depósito y condiciones futuras. Las estimaciones del caso base proporcionan una más probable, o esperada, vista de la economía del proyecto.

Las estimaciones puntuales son hechas con conocimiento e información limitado acerca del proyecto. En otras palabras, incertidumbres están asociadas con estas estimaciones de entrada puntuales. Para propósito de toma de decisiones, es esencial evaluar y analizar los efectos de estas incertidumbres en los criterios económicos.

El primer paso para ir más allá de la evaluación del caso base para examinar los efectos de las posibles variaciones en las estimaciones de entrada puntual sobre el flujo de efectivo y los criterios DCF (Flujo de Efectivo Descontado) es llevar a cabo un análisis de sensibilidad del proyecto.

Análisis de Sensibilidad para Evaluación de Proyectos.

El análisis de sensibilidad evalúa el efecto de variaciones específicas en los parámetros del proyecto en el criterio económico. ¿Qué pasa si valores más altos o bajos para las variables de entrada son sustituidas por sus estimaciones puntuales de caso base? ¿Cuán sensibles es la línea de fondo de la medida económica a estos cambios?

La forma más común y más simple de análisis de sensibilidad examina los efectos de cambiar una variable de entrada a la vez, dejando todas las demás constantes en valores de caso base. Para este propósito, un rango realístico de posibles valores para el parámetro de entrada es primero especificado. Por ejemplo, variaciones de +30%, +15%, 10%, y 20% de las estimaciones del caso base pueden ser designadas. El proyecto es re-evaluado para cada cambio específico. En consecuencia, se obtiene un rango de resultados para el flujo de efectivo y DCF.

Mediante el análisis de las variables de entrada de la forma uno a la vez, el análisis de sensibilidad permite el manejo para identificar las variables para las cuales la economía del proyecto es más sensible. Posteriormente a éstas variables se les puede dar atención especial en los análisis de riesgos y toma de decisiones. A la inversa, el análisis de sensibilidad muestra que parámetros no son tan importantes y, así, no justifican mucha atención futura.

Por ejemplo, un análisis de sensibilidad fue llevado a cabo para el proyecto “El Faro” de zinc y plomo en el territorio del Yukón cuando se estaba tomando la decisión del desarrollo inicial de la mina a mediados de 1960. Para ilustrar, nos fijamos en la sensibilidad de la tasa de retorno para posibles variaciones en dos parámetros del proyecto – costo de energía y precio del zinc-plomo. El caso base para la evaluación incluía un costo de energía esperado de 10 mil ls (décimas de centavo) por kilowatt-hora y un precio esperado de 14 centavos por libra de zinc-plomo. Cuando estos valores se combinaron con valores estimados esperados para las otras variables de entrada, la tasa de retorno esperada para el proyecto se encontró que era del 18.5 por ciento. El costo de energía previsto para el Proyecto Faro no era solo alto (para ese tiempo) sino también incierto debido a tres alternativas de energía, cada una con costos característicos muy diferentes, estaban en consideración en el momento de la evaluación – la expansión de las instalaciones de la Hidroeléctrica de los rápidos de Whitehorse, desarrollar una nueva planta generadora en los rápidos Five Fingers en el río Yukón, y el desarrollo del sitio Granito en el río Pelly. Por lo tanto, se consideró apropiado el probar la sensibilidad para la economía del proyecto para posibles variaciones en los costos de energía. Los resultados se presentan en la tabla 1. En el intervalo especificado de 6 a 14 décimos de centavo por kilowatt-hora, el costo de energía mostraba no tener efectos apreciables en la tasa de retorno. Mientras el parámetro es variado a través de esta amplia gama, la tasa de retorno cambia menos de un punto porcentual.

Mientras que el costo de energía es incierto, la viabilidad del proyecto "Faro" era insensible a esta variable. Por lo tanto, se concluyó que se ganaría poco tratando de mejorar la precisión del estimado del costo de energía o de definir con más precisión la incertidumbre asociada.

Analistas económicos y directivos de empresas saben que la incertidumbre del precio de mercado futuro es un factor muy importante en la evaluación de proyectos mineros. En el momento del estudio de viabilidad de "Faro", como hoy, el precio futuro del zinc y plomo son inciertos. A causa de la falta de fiabilidad de los 14 centavos esperados para el precio de zinc-plomo, la sensibilidad de la tasa de retorno para el proyecto "Faro" para posibles variaciones de precio fue examinado. Los resultados, presentados en la tabla 2, muestran un alto grado de sensibilidad de la economía del proyecto para el precio del metal. Mientras que el precio de zinc-plomo se varía de -40 por ciento a +40 por ciento del precio esperado, la tasa de retorno del proyecto cambia por un orden de magnitudes. Inversión de tiempo y esfuerzo en la búsqueda del mejor mercado disponible fueron consideradas por lo tanto justificadas para proveer los estimados más seguro posibles y un perfil realístico de la incertidumbre asociada.

Las variables del costo de energía y precio del metal fueron conscientemente escogidas para mostrar muy diferentes grados de sensibilidad. Uno de los propósitos de análisis de sensibilidad es el de delinear el crítico o variables

estratégicas en las que posteriormente se debe concentrar al llevar a cabo un análisis de riesgos. Una variable estratégica debe satisfacer dos condiciones:

- Alto grado de incertidumbre, una condición satisfecha por ambas, costo de energía y precio del metal en el caso Faro;
- Alto grado de sensibilidad de economía del proyecto a posibles variaciones en el parámetro, condición que solo el precio del metal cumple para el proyecto Faro.

Tabla 1. Sensibilidad de la tasa de retorno para costos de energía de proyecto el faro.

Variación Especificada de Valor Esperado (porcentaje)	Costo de Energía (mills/kwh)	Tasa de Retorno (porcentaje)
40	6	18.9
20	8	18.7
caso base	10	18.5
+ 20	12	18.3
+ 40	14	18.1

Tabla 2. Sensibilidad de la tasa de retorno para el precio del metal de proyecto el faro.

Variación Especificada de Valor Esperado (porcentaje)	Costo de Energía (centavos/libra)	Tasa de Retorno (porcentaje)
40	8.4	3.3
20	11.2	10.8
caso base	14	18.5
+ 20	16.8	25.9
+ 40	19.6	33

Ejemplo de Desarrollo de Proyecto de Oro.

En vista de las incertidumbres percibidas asociadas con las condiciones del caso base, ahora deseamos llevar a cabo un análisis de sensibilidad para el desarrollo del proyecto de oro. Para este propósito, las siguientes posibles variaciones en 10 variables del proyecto de sus valores de caso base han sido estimadas.

Note que los puntos finales inferior y superior en las variaciones de porcentaje para cada variable debe definir un rango realístico de posibles valores. Por ejemplo, pueden estar subjetivamente pensados para presentar un límite de confianza del 85% o, en otras palabras, un 70% de probabilidad de que el valor actual podría caer dentro del intervalo indicado.

Para ilustrar, determinaremos la sensibilidad para el valor presente neto después de impuestos y la tasa de retorno para el proyecto para estas variaciones especificadas. Los resultados del análisis de sensibilidad se presentan a continuación.

Tabla 3. Valores de las variaciones del caso base

Valores de las Variaciones del Caso Base				
Tamaño de Reserva	-30%	-15%	+25%	+50%
Ley de Reserva	-20%	-10%	+15%	+30%
Dilución Mina	-40%	-20%	+30%	+60%
Capital de Preproducción	-15%	+10%	+20%	+30%
Costo de Operación	-20%	+15%	+25%	+35%
Precio del Oro	-25%	+20%	+30%	+40%
Capital de Mayor Producción	-20%	+15%	+30%	+45%
Recuperación Mina	-10%	-5%	+5%	+10%
Recuperación en Procesamiento	-10%	-6%	-3%	+8%
Capital de Sustento	-20%	+15%	+30%	+45%

Tabla 4. Resultados de Análisis de Sensibilidad para Proyecto de Desarrollo de Oro.

Variante	VPN a 10% (\$ millones)	Tasa de Retorno (%)
Tamaño de Reserva:		
-30%	0.7	7.3
-15%	2.1	9.7
caso base	4.6	11.4
+25%	8	13
+50%	10.9	14
Ley de la Reserva:		
-20%	-30.2	-95
-10%	-10.4	0
caso base	4.6	11.4
+15%	25.1	24.7
+30%	46.6	36.1
Dilución de Mina:		
-40%	7.4	13.6
-20%	6	12.5
caso base	4.6	11.4
+30%	2.4	9.7
+60%	0.2	8.1
Capital de Preproducción:		
-15%	7.6	14.4
caso base	4.6	11.4
+10%	2.6	9.8
+20%	0.6	8.3
+30%	-1.6	7.1
Costos de Operación:		
-20%	12.9	17.1
caso base	4.6	11.4
+15%	-2.4	6.2
+25%	-7.4	2.3
+35%	-13.5	-2.5

Variante	VPN a 10% (\$ millones)	Tasa de Retorno (%)
Precio del Oro:		
-25%	-17.1	-1.3
caso base	4.6	11.4
+20%	17.6	20.1
+30%	23.7	23.9
+40%	30	27.3
Capital de Producción mayor:		
-20%	4.9	11.6
caso base	4.6	11.4
+15%	4.5	11.3
+30%	4.3	11.1
+45%	4.1	11
Recuperación de Mina:		
-10%	3	10.4
-5%	3.8	10.9
caso base	4.6	11.4
+5%	5.3	11.8
+10%	6.1	12.2
Recuperación de procesamiento:		
-10%	-2.9	5.8
-6%	0.2	8.2
-3%	2.5	9.8
caso base	4.6	11.4
+8%	10.1	15.2
Capital de Sostenimiento:		
-20%	4.9	11.6
caso base	4.6	11.4
+15%	4.4	11.2
+30%	4.2	11.1
+45%	3.9	10.9

Presentación Gráfica.

Los resultados del análisis de sensibilidad para un proyecto minero son usualmente presentados gráficamente, a menudo en la forma de diagrama de araña. Para este propósito, cambios de porcentaje en las variables de entrada de sus valores de caso base son graficados contra los cambios relativos asociados en un indicador económico particular.

Por ejemplo, considerar los resultados seleccionados del análisis de sensibilidad para el desarrollo del proyecto de oro mostrado en la Figura 1. Enfocando en el criterio de Valor Presente Neto, la figura presenta la sensibilidad en una formación de diagrama de araña.

Las curvas de sensibilidad representan cada una de las 10 variables de entrada. El grado de sensibilidad del valor presente neto a posibles cambios en estas variables está en función de la pendiente de las curvas. Por ejemplo, un aumento del 20% en cada variable por encima de su valor de caso base resultaría en los siguiente cambio relativos en el valor presente neto.

Note que las curvas de sensibilidad tienen pendiente positiva y negativa dependiendo de si la variable de entrada impacta en las entradas de efectivo o en las salidas de efectivo del proyecto.

pend. + impacto entradas de efectivo
pend - impacto salidas de efectivo

Tabla 5. Variaciones en Valor Presente Neto

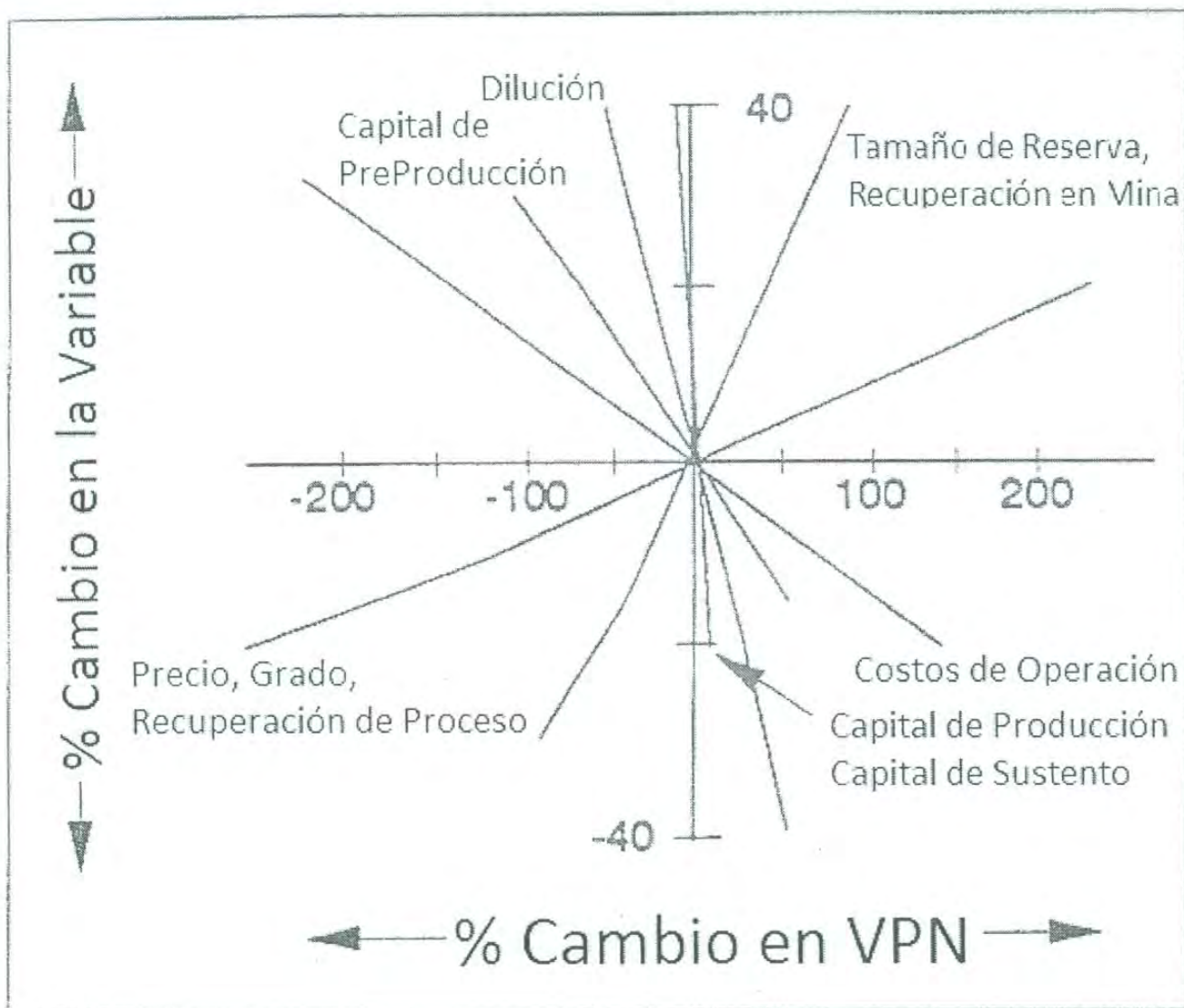
Variaciones en Valor Presente Neto	
Tamaño de Reserva	47%
Ley de Reserva	232%
Dilución Mina	-25%
Capital de Preproducción	-72%
Costo de Operación	-152%
Precio del Oro	232%
Capital de Mayor Producción	-4%
Recuperación Mina	47%
Recuperación en Procesamiento	104%
Capital de Sustento	-6%

Seis variables clave que individualmente, sobre sus respectivos intervalos de porcentaje, ponen en peligro la viabilidad económica del proyecto y son: costos operativos, ley de reserva, precio del oro, capital de preproducción, procesamiento de recuperación y tamaño de la reserva.

¿Qué nos dicen estos resultados particulares? Primeramente, a concentrarse en la mejora de la fiabilidad de los estimados para las seis variables clave para su posterior análisis económico y toma de decisiones.

Una representación gráfica de los resultados del análisis de sensibilidad, a lo largo de las líneas de la figura anterior, es conveniente para presentaciones a directivos. Esto permite preguntas del tipo "¿Qué pasaría si?" a ser contestadas referente al impacto de posibles cambios en variables del proyecto en la viabilidad económica.

Figura 1. Sensibilidad del valor presente neto a posibles cambios en las variables de entrada.



Análisis de Punto de Equilibrio.

En conjunto con el análisis de sensibilidad, valores de punto de equilibrio pueden ser determinados para cada una de las variables clave del proyecto. La evaluación del punto de equilibrio determina el valor de cada variable de entrada requerida para dar el mínimo aceptable de regreso de inversión.

Los valores de punto de equilibrio se pueden encontrar por una evaluación a prueba y error. Alternativamente, pueden ser derivados en una manera más aproximada del diagrama de araña de los resultados de sensibilidad. En este caso, los valores de punto de equilibrio son determinados por los puntos en los que la curva de sensibilidad intersecta con el margen económico.

En el caso del desarrollo del proyecto de oro, valores de punto de equilibrio para cada una de las seis variables clave se requiere obtener un mínimo aceptable de 8% de tasa de retorno ha sido evaluada a continuación:

Tabla 6. Valores de punto de equilibrio para las seis variables clave requieren obtener una tasa de retorno del 8%

<u>Valores de Punto de Equilibrio para las Seis Variables Clave Requieren obtener una Tasa de Retorno del 8%</u>	
Tamaño de Reserva	1.85 millones de tons
Ley de Reserva	7.87 gramos por ton
Capital de Preproducción	\$39.8 millones
Costo de Operación	\$50.40 por tonelada
Precio del Oro	\$281 por onza
Recuperación Procesamiento	86%

Variaciones Simultáneas de las Variables de Entrada.

En el análisis anterior, cambiamos una sola variable a la vez. Variaciones simultáneas de dos o más variables es también posible. Por ejemplo, vamos a evaluar el impacto combinado de cambios en el precio del oro y el promedio de ley de reserva, usualmente dos variables a las cuales la economía del proyecto es usualmente sensible, en la tasa de retorno. Para ilustrar, considere las 36 combinaciones siguientes del precio del oro y ley de reserva:

Precios ^{del oro} - 280, 330, 380, 430, 480, 530

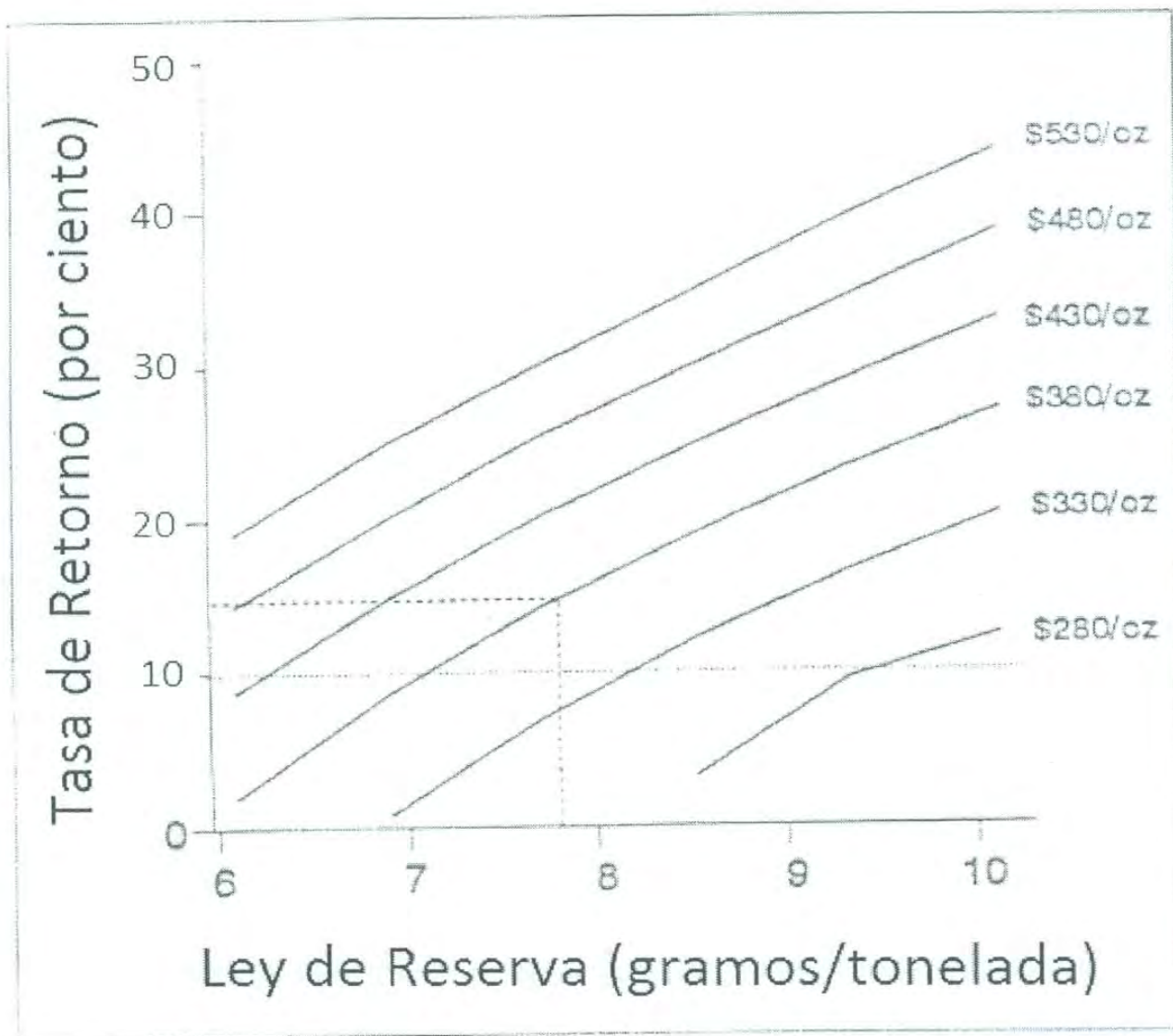
Ley ^{de reserva} - 6.2, 7.0, 7.8, 8.6, 9.4, 10.2

Los hallazgos son presentados a continuación en la figura de abajo. Estos resultados nos permiten contestar preguntas un tanto más realistas acerca de los posibles resultados del proyecto. Por ejemplo, que si el precio del oro es \$430 por onza y la ley promedio de la reserva es de 8.6 gramos por tonelada? Como se muestra en la figura, la tasa de retorno bajo estas condiciones sería 24.8 por ciento.

Si variaciones simultáneas de dos de más variables son consideradas, el número de combinaciones crece rápidamente. Por ejemplo, si 5 variables de entrada son consideradas y cada una tiene 5 posibles valores, habrá 3,125 posibles combinaciones a ser evaluadas! Más importante, los resultados del análisis de sensibilidad se convierten cada vez más difíciles de presentar e

interpretarse mientras más variables sean cambiadas a la vez. Normalmente se pueden encontrar muchas combinaciones de las variables para las cuales se justifica económicamente un proyecto, y muchas combinaciones para las cuales no. Mientras más combinaciones de variables intentemos, menos claro se vuelve el panorama económico del proyecto. Pronto se vuelve más realista y más productivo pasar al análisis de riesgos.

Figura 2. Análisis de Sensibilidad: variaciones simultáneas del precio del oro y ley de la reserva.



Otras áreas de aplicación.

Además de ser utilizada como una herramienta estándar para la evaluación de proyectos de exploración y oportunidades de desarrollo de minas, el análisis de sensibilidad se puede emplear satisfactoriamente de otras maneras.

La determinación de las condiciones de punto de equilibrio es una forma de análisis de sensibilidad que ayuda a respaldar decisiones cuando existe incertidumbre particularmente acerca de los valores de las variables clave. En estas situaciones, usualmente ayuda el preguntarse – Cuál es el valor crítico para la variable que proveería el mínimo económico para justificar la inversión ó que haría dos alternativas igualmente atractivas? a continuación, la decisión puede basarse en un juicio para determinar si el valor real de la variable es probable que sea por encima o por debajo de este punto de equilibrio. Un juicio de este tipo por lo general es más fácil de hacer que la estimación más exacta del valor real.

Ya hemos visto varios ejemplos de este tipo de aplicaciones para el análisis de sensibilidad:

- Número de años de beneficios requeridos para proporcionar una justificación económica mínima para una inversión de capital;
- El punto de equilibrio de la tasa de costo de capital requerida para igualar los costos de los dos tipos de acuerdos de exploración;

- Tasa de equilibrio de reinversión para resolver el problema de los resultados contradictorios entre los métodos DCF;
- Precio del Oro requerido para proveer la justificación económica mínima de la inversión en una mina de oro en operación.

Otra área de aplicación que consideraremos más adelante es la determinación de las condiciones de ley de tonelaje mínimas aceptables para la planificación de la exploración.

Resumen

El análisis de sensibilidad está diseñado para proporcionar a la dirección con respuestas a una amplia gama para las preguntas del tipo “¿Qué pasa sí?”. Sin embargo, para ir más allá de los cambios en las variables del proyecto de una a la vez, este ejercicio bastante mecanizado se hace menos significativo.

Lo más importante, el análisis de sensibilidad juega un papel de puente en el proceso de evaluación. A partir de las estimaciones puntuales que forman la evaluación del caso base, el impacto de posibles variaciones en el criterio económico son examinados y, al hacerlo, las variables clave del proyecto pueden ser identificadas. Esto ayuda a enfocar los recursos disponibles para el posterior montaje de información y análisis económico de la manera más productiva.

El análisis de sensibilidad no es en sí mismo un evaluador de riesgo en un proyecto minero. Para evaluar el riesgo, necesitamos incorporar estimaciones de probabilidad para todos los posibles resultados de responder la pregunta “¿Qué pasa sí?”. La mejor manera de obtener una visión general de los posibles resultados del proyecto es avanzar en el análisis de riesgo.

Efectos de la Inflación en Proyectos de Evaluación de Minería.

Introducción

Hasta ahora, la estimación de flujos de efectivo y la evaluación del criterio DCF (Discounted Cash Flow ó Flujo de caja descontado) se han hecho en términos monetarios constantes, sin tener en cuenta la inflación. Este capítulo considera los efectos de la inflación, señalando las condiciones en que los indicadores DCF pueden estar significativamente mal si la inflación es ignorada, y proporciona directrices para hacer frente a la inflación en la evaluación de las minas.

Cualquiera que sea el objetivo de una evaluación, para propósito de toma de decisiones es necesario determinar los criterios DCF reales y estos se pueden obtener a partir de una distribución de flujo de efectivo de moneda corriente. Si el retorno de la inversión se mide en términos de moneda corriente, entonces el costo del capital mismo debe expresarse en términos de moneda corriente.

Medición de la Inflación

La inflación es definida como la disminución del poder adquisitivo de la moneda con el tiempo. La existencia de la inflación significa que a medida que pasa el tiempo hay un aumento en los niveles de los precios para cantidades dadas de bienes y servicios. Como consecuencia de ello, una cantidad futura de dinero representa menos poder adquisitivo (en términos de bienes y servicios) que la misma cantidad en la actualidad. Esta es la consecuencia de, en lugar de la razón de, que la inflación es relevante en la evaluación de proyector en minería.

El precio para todos los bienes y servicios no cambia al mismo ritmo o en la misma dirección mientras que el tiempo pasa. Sin embargo, nuestra preocupación aquí es con la tasa promedio o general de cambio en los precios que ocurre en una economía en particular.¹ Dos de los índices comúnmente usados son el Índice de Precios al Consumidor (IPC) y el Producto Interno Bruto (PIB) Índice Implícito de Precios. El IPC mide el nivel de precios de una canasta fija de bienes y servicios de consumo, compuesta por elementos típicamente adquiridos por el público en general. El PIB Índice Implícito de Precios es una medida más amplia del cambio de nivel de precios de una economía, ya que se basa en los precios de todos los bienes y servicios producidos.

¹ Ésta tasa general de inflación es un promedio ponderado del incremento de los precios en varios sectores y regiones geográficas de una economía. Escalada es un término que es algunas veces utilizado para denotar la diferencia entre el cambio de precios anticipado para una variable particular en

una evaluación económica y la tasa de inflación general. Los costos de capital, costos operativos y el precio de los metales para un proyecto minero están hechos cada uno de un número de componentes que difieren el uno del otro y de los componentes de la economía global. Por lo tanto, se puede esperar que la tasa de cambio de precios varíe. Estas variaciones no son consideradas aquí. En la medida que estos diferenciales pueden ser anticipados, deben de incluirse en la evaluación desde el principio, expresada en cambios reales de moneda corriente en los estimados de flujo de efectivo, como se indica en el capítulo de flujo de efectivo.

La tabla 1 presenta estos índices para Canadá durante el período de 1970 – 2000. Como se muestra, índices de inflación general como estos tienden a moverse juntos.

Éstos índices se construyen determinando el precio total para un paquete definido de bienes y servicios en un punto en el tiempo y después comparando este total con el precio del paquete para un año base determinado.

Por ejemplo, en referencia a la tabla 1, el PIB Índice Implícito de Precios para el 2000 es 143.5. Esto significa que en el 2000 cuesta \$143.50 comprar los mismos bienes y servicios que costó \$100 en 1985 (el año base).

Estos índices también pueden ser usados para determinar la tasa de inflación durante un período de tiempo. Para este propósito, la inflación se expresa mejor como una tasa de cambio promedio de una manera idéntica a la utilizada por el interés compuesto. Basado en el PIB Índice Implícito de Precios, por ejemplo, la tasa promedio anual de inflación (f) de 1970 a 2000 puede ser determinada como se muestra a continuación:

$$33.6(1 + f)^{30} = 143.50$$

$$(1 + f)^{30} = \frac{143.50}{33.6} = 4.271$$

$$f = 4.96 \%$$

En la evaluación de alternativas de inversión, es la tasa de inflación esperada en la vida de un proyecto la que debe ser considerada. Tasas de inflación pasadas pueden ser utilizadas como punto de partida para hacer tales predicciones.

Tabla 1. Índices de precios utilizados para definir la inflación: Canadá, 1970-2000.

Aumento del PIB				
Índice de precios		Aumento en IPC en años anteriores	PIB IPI	IPI en años anteriores
Año	al consumidor	(porcentaje)	(1985=100)	(porcentaje)
1970	32.3	3.5	33.6	4.7
1971	33.2	2.8	34.7	3.3
1972	34.8	4.8	36.7	5.8
1973	37.4	7.5	39.9	8.7
1974	41.5	11	45.6	14.3
1975	46	10.8	50.2	10.1
1976	49.4	7.4	54.5	8.6
1977	53.4	8.1	57.9	6.2
1978	58.1	8.8	61.4	6
1979	63.5	9.3	67.6	10.1
1980	69.9	10.1	74.7	10.5
1981	78.6	12.4	82.8	10.8
1982	87.1	10.8	90	8.7
1983	92.2	5.9	94.5	5
1984	96.2	4.3	97.5	3.2
1985	100	4	100	2.6
1986	104.2	4.2	102.4	2.4
1987	108.7	4.3	107.1	4.6

Aumento del PIB				
Aumento en IPC		PIB	IPI	
Índice de precios		en años anteriores	IPI	en años anteriores
Año	al consumidor	(porcentaje)	(1985=100)	(porcentaje)
1988	113.1	4	112.4	4.9
1989	118.7	5	117.6	4.6
1990	124.4	4.8	121.2	3.1
1991	131.4	5.6	124.7	2.9
1992	135.9	3.4	126.2	1.2
1993	138.4	1.8	127.6	1.1
1994	138.7	0.2	128.5	0.7
1995	141.7	2.2	130.4	1.5
1996	143.9	1.6	132.1	1.3
1997	146.2	1.6	134.2	1.6
1998	147.6	1	133.8	-0.3
1999	150.1	1.7	138.4	3.4
2000	154.2	2.7	143.5	3.7

*IPI = Índice de Precios Implícitos

Efecto sobre el Costo de Capital de la Deuda

El costo de los intereses explícitos de capital de la deuda es expresado en términos de moneda corriente. La tasa de interés nominal debe ser corregida para la inflación antes de ser utilizada como parte de la determinación del Costo de Capital para la evaluación de oportunidades de minería.

Considerando, por ejemplo, el costo de pedir prestado \$10 millones a una tasa de interés del 11% anual, con la amortización del principal en 10 años. La tasa de inflación anticipada durante el término del préstamo es de 6% anual. Las

distribuciones de flujo de efectivo en dólares corrientes y constantes asociados a esta financiación de la deuda se presentan en la tabla 2. Como se muestra, una tasa de interés nominal de 11 por ciento en un entorno inflacionario de 6 por ciento da un costo de capital en dólares real o constante de 4.7 por ciento.²

Los impuestos también se deben considerar si el pago de intereses es una deducción admisible para efectos fiscales. Para extender el ejemplo anterior, si el interés puede ser cargado como gasto y la tasa de impuestos es del 35 por ciento, la distribución de flujo de efectivo del dólar corriente y constante después de la distribución de flujo de efectivo después de impuestos son determinados como se muestra en la tabla 3. En este caso, el costo nominal antes de impuestos de 11 por ciento es equivalente al costo nominal después de impuestos de 7.2 por ciento.

distribuciones de flujo de efectivo en dólares corrientes y constantes asociados a esta financiación de la deuda se presentan en la tabla 2. Como se muestra, una tasa de interés nominal de 11 por ciento en un entorno inflacionario de 6 por ciento da un costo de capital en dólares real o constante de 4.7 por ciento.²

Los impuestos también se deben considerar si el pago de intereses es una deducción admisible para efectos fiscales. Para extender el ejemplo anterior, si el interés puede ser cargado como gasto y la tasa de impuestos es del 35 por ciento, la distribución de flujo de efectivo del dólar corriente y constante después de la distribución de flujo de efectivo después de impuestos son determinados como se muestra en la tabla 3. En este caso, el costo nominal antes de impuestos de 11 por ciento es equivalente al costo nominal después de impuestos de 7.2 por ciento.

Tabla 2. Efecto de la inflación en el costo de la deuda de capital (\$ miles).

Año	Flujo de efectivo de dólar corriente i=11 por ciento	Flujo de efectivo de dólar constante. f=6 por ciento
0	10,000	10,000
1	-1,100	-1,038
2	-1,100	-979
3	-1,100	-924
4	-1,100	-871
5	-1,100	-822
6	-1,100	-776
7	-1,100	-732
8	-1,100	-690
9	-1,100	-651
10	-11,100	-6,198
Total	-11,000	-3,681
Costo de la deuda de capital (%)	11	4.7

Este ejemplo simple muestra como la inflación puede ser eliminado de las tasas de interés nominales para determinar el costo real de la deuda de capital.

Efectos en los indicadores de Flujo de Efectivo Descontado

La distribución del tiempo de un flujo de efectivo estimado para una inversión alternativa se puede expresar tanto en términos de moneda corriente como en términos de moneda constante.

Si el flujo de efectivo es expresado en unidades de moneda constante, más convenientemente definido como el valor de la moneda hoy, tienen el mismo poder adquisitivo en todo el tiempo de vida esperado del proyecto. El flujo de efectivo de un año, por lo tanto, se puede comparar directamente con la de otro. El valor presente neto calculado para el proyecto estará en unidades monetarias de hoy. Similarmente, el valor anual equivalente real, presenta relación de valor, y los indicadores de tasa de retorno pueden ser directamente evaluados de la distribución de flujo de efectivo de moneda constante.

Si, por otra parte, el flujo de efectivo es expresado en unidades de moneda corriente, su poder adquisitivo disminuye con la vida del proyecto en función de la tasa de inflación anticipada. Cualquier valor presente neto, valor anual equivalente, o relación de valor presente que es calculada directamente de esta distribución de flujo de efectivo encarnaría una mezcla de valores monetarios y, por lo tanto, sería insignificante. Una tasa de retorno evaluada de una distribución de moneda corriente se distorsionará por la inflación y, a menos que se aplique una corrección, dará una engañosa impresión de la rentabilidad del proyecto.

Es posible, sin embargo, convertir un flujo de efectivo en términos de moneda corriente a un flujo de efectivo en términos de moneda constante (al igual que en el ejemplo anterior de financiamiento de deuda) mediante la aplicación de un factor a el cálculo del flujo de efectivo para cada año para representar la cantidad por la cual el poder adquisitivo del dinero es esperado que cambie en ese lapso. La distribución de flujo de efectivo es entonces en términos de moneda constante y puede ser usada para calcular el criterio de flujo de efectivo descontado real.

La diferencia entre los valores resultantes de la evaluación del flujo de efectivo en moneda constante y corriente depende de dos factores:

- La tasa general de inflación;
- El sistema de impuestos a la minería.

Se explora los efectos de la inflación en la evaluación de una mina con respecto a cada uno de estos valores. Específicamente, nos gustaría saber en cada caso que tan errado puede estar el criterio de flujo de efectivo descontado, si continuáramos ignorando la inflación. Esto se ilustra mediante la selección de un criterio, la tasa de retorno, y calculando en dos maneras:

1. mediante el trabajo en términos de moneda constante sin tener en cuenta la inflación;

2. asumiendo las tasas de inflación futuras, convirtiendo estimados de moneda constante en flujos de efectivo de moneda corriente, traducir los resultados de la línea de fondo del flujo de efectivo de nuevo a unidades de moneda corriente, y calculando la tasa real de retorno para esta distribución.

Un ejemplo de proyecto de minería es usado para ilustrar estos efectos de la inflación.

Tabla 3 Efecto de la inflación en el costo de deuda de capital después de impuestos.

Año	Flujo de Efectivo en Moneda Corriente		Flujo de Efectivo después de impuestos en moneda constante F= 6 por ciento
	Antes de Impuestos I = 11 por ciento	Después de Impuestos T = 35 por ciento	
0	10,000	10,000	10,000
1	-1,100	-715	-675
2	-1,100	-715	-636
3	-1,100	-715	-600
4	-1,100	-715	-566
5	-1,100	-715	-534
6	-1,100	-715	-504
7	-1,100	-715	-476
8	-1,100	-715	-449
9	-1,100	-715	-423
10	-11,100	-10,715	-5,983
Total	-11,000	-7,150	-846
Costo de Deuda de Capital (%)	11	7.2	1.1

Efectos sobre la evaluación antes de impuestos de los proyectos mineros

Teniendo en cuenta la evaluación del proyecto en un potencial, en base antes de impuestos, inflación uniforme en ingresos, costo de capital, y costos operativos produce una distribución de flujo de efectivo de moneda corriente que a su vez aumenta al ritmo de la tasa general de inflación. Deflactar esta distribución con los mismos resultados de la tasa en flujos de efectivo idénticos a los producidos por el trabajo en términos de moneda constante e ignorando la inflación. Bajo estas circunstancias, no hay error en llevar a cabo el análisis descartando la inflación.

Los siguientes estimados se han hecho para una oportunidad de desarrollo de una mina hipotético. Los valores están dados en moneda constante en el tiempo 0 dólares.

Período de Desarrollo: 2 años

Gastos de capital de preproducción: \$2 millones,

Distribuidos uniformemente durante el período de desarrollo.

Vida productiva de la mina: 10 años.

Ingresos anuales: \$1 millón.

Costos operativos anuales: \$0.5 millones.

Sin tener en cuenta la inflación, la distribución del tiempo de flujo de caja para el proyecto se deriva en la tabla 4. La tasa de retorno de moneda constante calculada con base en esta distribución es de 18.8 por ciento.

Asumiendo una tasa de inflación general de 10 por ciento por año, los ingresos, gastos de capital, y los costos operativos estimados son convertidos a su equivalente en dólares corrientes en la tabla 5, y la distribución de flujo de efectivo en dólares corrientes es derivada. La tasa de retorno en moneda corriente calculada en base a esta distribución es de 30.6 por ciento.

Así, el 10 por ciento de la tasa de inflación general ha aumentado la tasa de retorno nominal para el proyecto en $(30.6 - 18.8) = 11.8$ por ciento. Si la línea de fondo de los resultados de flujo de efectivo en la tabla 5 son convertidos de vuelta en moneda constante como se muestra, la distribución de flujo de efectivo de la tabla 4 se reproduce. La tasa de retorno de dólar contante es por lo tanto una vez más 18.8 por ciento. Esto sugiere que para las condiciones supuestas:

- Los flujos de efectivo de dólar corriente están aumentando al ritmo de la tasa de inflación general;
- No se causa ningún error por ignorar la inflación;
- La relación entre las tasas de retorno de dólar corriente y constante está en función de la tasa de inflación.

Tabla 4. Flujo de efectivo de moneda constante antes de impuestos para evaluación de proyecto de minería

Componente	Año												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ingresos			1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Costos de Operación			500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Depreciación Permitida			200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Ingresos sujeto a impuestos			300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Pago de Impuestos			135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
Costo de Capital	1000	1000											
Flujo de Efectivo después de Impuestos	- 1000	-	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365

Tasa de Retorno: 11.4%

Tabla 5. Flujo de Efectivo de Moneda Constante Antes de Impuestos para Evaluación de Proyecto de Minería tasa de inflación del 10% anual

Componente	Año											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos			1331	1464	1610	1772	1949	2144	2358	2594	2853	3138
Costos de Operación			666	732	805	886	974	1072	1179	1297	1427	1569
Costos de Capital	1100	1210										
Flujo de Efectivo -	-1100	-1210	665	732	805	886	975	1072	1179	1297	1426	1569

Tasa de Retorno : 30.6%

Flujo de Efectivo Deflactado:	-1000	-1000	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
-------------------------------	-------	-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tasa de Retorno: 18.8%

Relación entre las tasas de moneda constante y moneda corriente

Los costos de capital de moneda constante y corriente y tasas de retorno se pueden relacionar matemáticamente por la tasa de inflación general cuando se satisfacen las siguientes condiciones:

- Evaluación antes de impuestos;
- Evaluación después de impuestos si todos los costos se registran como gasto para fines tributarios.

Estas condiciones se cumplen en el costo de deuda de capital y ejemplos de proyectos mineros hasta ahora considerados.

La relación, derivada en el apéndice de este capítulo, se puede aplicar como sigue.

$$r' = \left(\frac{1+r''}{1+f} \right) - 1$$

$$r'' = \left(\frac{1+r'}{1+f} \right) - 1$$

Dónde:

r' = costo de capital moneda constante o tasa de retorno;

r'' = costo de capital moneda corriente o tasa de retorno;

f = tasa de inflación general.

El uso de esta relación puede ser ilustrada por los tres ejemplos anteriores resueltos numéricamente.

1. Costo de la deuda de capital antes de impuestos

$$r' = \left[\frac{(1+0.11)}{(1+0.06)} \right] - 1 = 0.047 \text{ ó } 4.7\%$$

2. Costo de la deuda de capital después de impuestos

$$r' = \left[\frac{(1+0.072)}{(1+0.06)} \right] - 1 = 0.011 \text{ ó } 1.1\%$$

3. Evaluación de proyecto de minería antes de impuestos

$$r'' = (1 + 0.188)(1 + 0.10) - 1 = 0.306 \text{ ó } 30.6\%$$

Efectos en los gastos de capital después de impuestos

El efecto de la inflación sobre los créditos fiscales asociados con la depreciación de los gastos de capital para efectos de impuestos puede ser determinado mediante la aplicación de la tasa de inflación esperada (f) para convertir el costo de capital de moneda constante (rY) a la equivalente tasa de moneda corriente (r''). Esta tasa de moneda corriente se utiliza a continuación en la fórmula apropiada de factor de impuesto de capital (CTF).

Efectos en la Evaluación de Proyectos de Minería después de impuestos.

El efecto de la inflación en la evaluación de proyectos en la minería después de impuestos puede ser significativo. Este efecto es el resultado de una combinación de dos factores. Primero, todos los costos no pueden ser deducidos para propósito de impuestos en el año incurrido. Lo más importante, los gastos de capital tienen que ser depreciados en un período de años. Segundo, con unas pocas excepciones en el mundo real, deducciones permitidas se basan en los costos reales incurridos.

Cuando los costos reales tienen que ser deducidos en los años futuros, y cuando un ingreso sujeto a impuesto se inflaciona, una menor proporción del ingreso sujeto a impuesto cada año queda exonerado de impuestos. En otras palabras, bajo condiciones inflacionarias, las deducciones permitidas en términos de moneda constante son menos que el costo real incurrido. Esta brecha se amplía en función de la tasa de inflación. Así el flujo de efectivo real después de impuestos y los indicadores de flujo de efectivo descontado no son tan altos como se calcula sin tener en cuenta la inflación.

Considere la imposición del siguiente sistema tributario simplificado en nuestra hipotética oportunidad de desarrollo de la mina:

- Depreciación de costos de capital linealmente de 10 por ciento;
- Tasa de impuestos de 45 por ciento;

- Sobreestima la depreciación permitida;
- Subestima los ingresos fiscales;
- Subestima pagos de impuestos;
- Sobreestima flujos de efectivo después de impuestos ; y
- Sobreestima flujo de efectivo después de impuestos e indicadores de flujo de efectivo descontado.

Note las diferencias entre las depreciaciones permitidas deflactadas, pagos de impuestos, y flujos de efectivo después de impuestos en la tabla 7 y los valores calculados para estos componentes en la tabla 6.

El sesgo introducido en la evaluación al ignorar la inflación es en parte función de la tasa de inflación. La figura 1 ilustra este punto para el ejemplo hipotético del proyecto de la mina. El grado de error también depende de las condiciones fiscales y sería más bajo de lo que se muestra en el ejemplo para:

- Tasas más altas de depreciación;
- Tasas de impuestos más bajas;
- Situaciones donde la depreciación puede ser usada para crear una pérdida;
- Empresa integrada en base a los impuestos.

Tabla 6. Evaluación después de impuestos de proyecto de minería sin tomar en cuenta la inflación.

Componente	Año											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos			1331	1464	1610	1772	1949	2144	2358	2594	2853	3138
Costos de Operación			666	732	805	886	974	1072	1179	1297	1427	1569
Depreciación Permitida			231	231	231	231	231	231	231	231	231	231
Ingresos sujeto a impuestos			434	501	574	655	743	841	948	1066	1195	1338
Pago de Impuestos			196	225	258	295	335	378	427	480	538	602
Costo de Capital	1100	1210										
Flujo de Efectivo después de impuestos	-1100	-1210	470	507	547	591	640	693	752	817	889	967
Valores Deflacionados:												
Depreciación Permitida			174	158	143	130	119	108	98	89	81	74
Pago de Impuestos			147	154	160	166	172	177	181	185	189	192
Flujo de Efectivos después de impuestos	-1000	-1000	353	346	340	334	328	323	319	315	311	308

Tasa de Retorno: 11.4%

Proyecto de Desarrollo de Oro

El error causado por ignorar la inflación se puede ilustrar adicionalmente usando el Tutorial del Proyecto de Oro. La determinación del flujo de efectivo después de impuestos y el flujo de efectivo asociado y los indicadores de flujo de efectivo descontado para el caso base sigue el procedimiento de evaluación anterior, utilizando una tasa de inflación proyectada del 2%. Estos resultados de la evaluación son comparados abajo con aquellos que han sido obtenidos usando una tasa de inflación del 0% o, en otras palabras, ignorando la inflación.

Tabla 7. Resultados después de impuestos usando tasas de inflación de 2% y 0%.

Concepto	2% Inflación	0% Inflación
Ingresos Totales (\$ millones)	206	206
Ganancia Total (\$ millones)	24	25
Período de Recuperación (años)	5.3	5.2
VPN a 10% (\$ millones)	4.6	5.4
Relación de Valor Presente a 10%	0.16	0.19
Tasa de Retorno (porcentaje)	11.4	11.9

Así, incluso con solo una tasa de inflación del 2%, los indicadores económicos correctos después de impuestos para este proyecto son significativamente más bajos que lo que se calcula sin tomar en cuenta la inflación.

Procedimiento de evaluación recomendado

Este error puede evitarse adoptando el siguiente procedimiento de evaluación:

- Introducir una tasa de inflación general prevista durante la vida del proyecto;
- Aplica esta tasa de inflación para convertir los estimados de moneda constante de ingresos anuales, costos de operación anuales, gastos de capital, y parámetros al final de su vida a equivalentes de moneda corriente;
- Determine los pagos de impuestos y flujos de efectivo después de impuestos en términos de moneda corriente;
- Aplicar la tasa de inflación prevista para deflactar el flujo de efectivo de moneda corriente a términos de moneda constante; y
- Use esta distribución de flujo de efectivo de moneda constante para calcular el flujo de efectivo correcto y los indicadores de flujo de efectivo descontado.

Recomendaciones sobre el manejo de la inflación en la evaluación de la mina se mencionan a continuación:

1. La decisión de no tener en cuenta la inflación en la evaluación de una inversión alternativa debe ser una decisión consiente hecha con el conocimiento de sus posible efectos.
2. Cuando proyectos se evalúan en base antes de impuestos, el criterio real de flujo de efectivo descontado puede ser calculado mediante el trabajo en términos de moneda constante ignorando la inflación.

Tabla 8. Evaluación después de impuestos de proyecto de minería considerando la inflación (\$ miles, tasa de inflación del 10% anual)

Componente	Año											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos			1331	1464	1610	1772	1949	2144	2358	2594	2853	3138
Costos de Operación			666	732	805	886	974	1072	1179	1297	1427	1569
Depreciación Permitida			231	231	231	231	231	231	231	231	231	231
Ingresos sujeto a impuestos			434	501	574	655	743	841	948	1066	1195	1338
Pago de Impuestos			196	225	258	295	335	378	427	480	538	602
Costo de Capital	1100	1210										
Flujo de Efectivo												
después de impuestos	-1100	-1210	470	507	547	591	640	693	752	817	889	967
Valores Deflacionados:												
Depreciación Permitida			174	158	143	130	119	108	98	89	81	74
Pago de Impuestos			147	154	160	166	172	177	181	185	189	192
Flujo de Efectivos después de impuestos	-1000	-1000	353	346	340	334	328	323	319	315	311	308

Tasa de Retorno: 9.4%

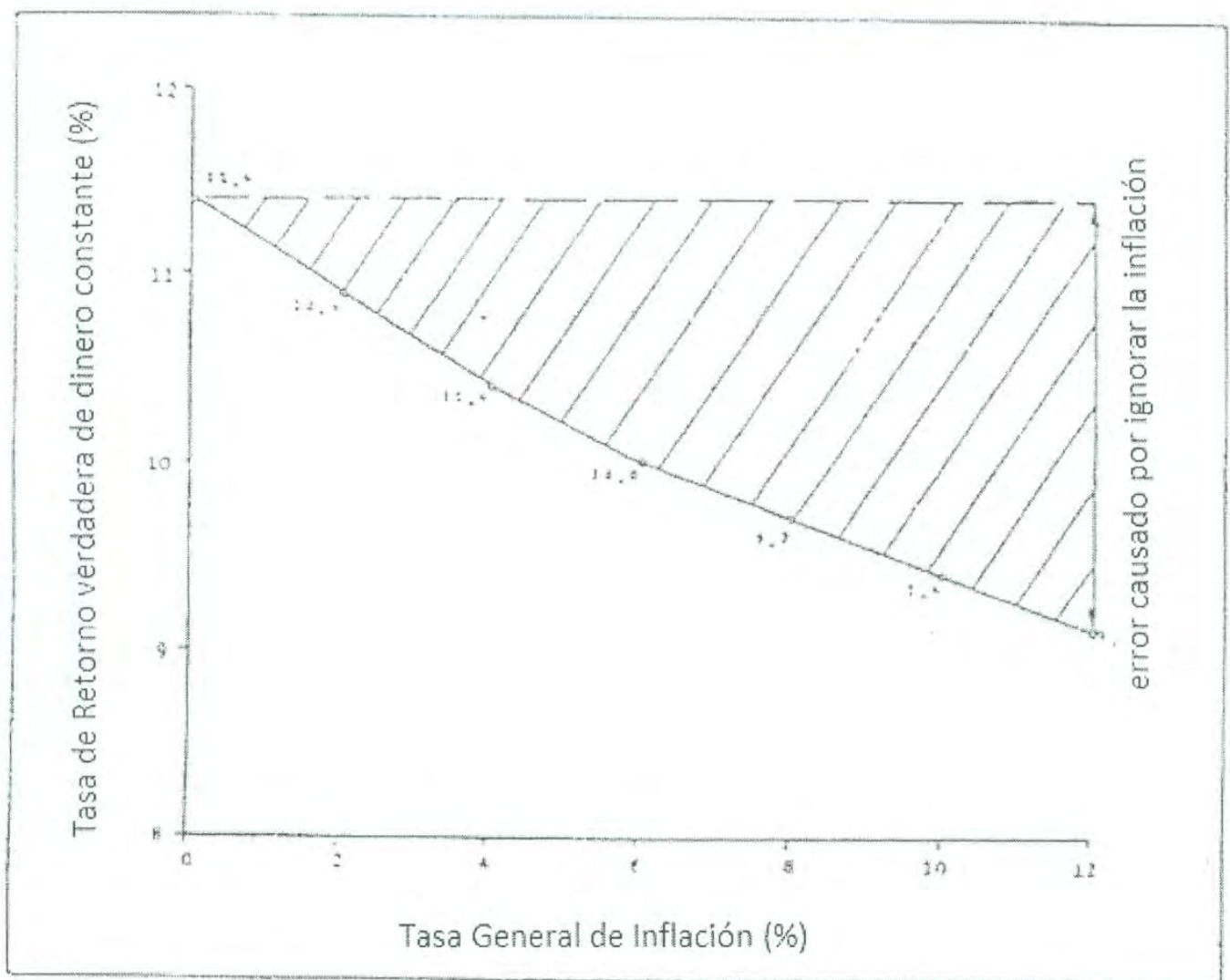
3. Para la evaluación de proyectos de exploración y en las primeras etapas de modelos de planeación (la evaluación del mínimo aceptable de las condiciones de ley de tonelaje, por ejemplo) cálculos después de impuestos pueden ser hechos en términos de moneda constante sin tomar en cuenta la inflación.

4. Para la evaluación de desarrollos alternativos de mina y oportunidades de adquisición en la etapa preliminar del estudio de viabilidad, un análisis de sensibilidad de los efectos de la inflación, tal como el que se muestra en la figura 1, provee al analista de directrices útiles de cómo proceder a partir de una evaluación inicial de moneda constante. El caso base debe de estar preparado en términos de moneda constante pero la inflación se debe incluir como una de las áreas del análisis de sensibilidad. Una gama de indicadores de flujo de efectivo descontado se debe de producir para mostrar el límite inferior y superior de posibles variaciones basado en lo esperado, bajo, y altos estimados de tasas de inflación futura. La inclusión de la inflación en un tipo probabilístico de análisis de riesgo también debería ser considerado en este escenario.

5. En un estudio final de viabilidad preparado para la financiación después de que se haya tomado la decisión fundamental para seguir adelante con el proyecto, condiciones de inflación esperadas deben de ser incluidas en las proyecciones de flujo de efectivo del caso base propuesto. El flujo de efectivo resultante debe, por supuesto, ser expresado en términos de moneda constante antes de que los indicadores de flujo de efectivo descontado sean derivados. La

inflación se debe incorporar con otras variables estratégicas en un análisis de sensibilidad y análisis de riesgo completo.

Figura 1. Error causado por menospreciar la inflación en la Evaluación de un Proyecto de Minería después de impuestos.



Referencias

Barish, N.N. y S. Kaplan, *Economic Analysis for Engineering and Managerial Decision Making*, segunda edición, McGraw-Hill, 1978, 791 pp.

Bennett, H.J. et al, *Financial Evaluation of Mineral Deposits Using Sensitivity and Probabilistic Analysis Methods*, Circular Informativa 8495, *Bureau of Mines*, Departamento del Interior U.S., Washington, 1970, 82 pp.

Bilodeau, M.L., *Engineering Economy Course Notes*, Departamento de Ingeniería Minera y Metalúrgica, Universidad McGill, semestre de invierno, 1988.

Chelini, J.M., *Sensitivity Analysis of Cash Flow Factors to Discounted Rate of Return – a Decision Making Tool*, Ingeniería de Minas, Mayo de 1972, pp. 52-54.

Fabrycky, W.J. y G.J. Thuesen, *Economic Decision Analysis*, segunda edición, Prentice-Hall, 1980, 431 pp.

Riggs, J.L., *Engineering Economics*, segunda edición, McGraw-Hill, 1982, 789 pp.