

**PROYECCIÓN DEL PRECIO DE LARGO PLAZO DEL COBRE  
(DE / 16 / 08)**

## INDICE

	<b>Pág.</b>
1. RESUMEN	3
2. OBJETIVOS Y ANTECEDENTES	5
2.1 <b>Objetivos</b>	5
2.2 <b>Antecedentes</b>	7
3. PRECIO INCENTIVO	11
3.1 <b>Metodología</b>	11
3.2 <b>Consumo</b>	14
3.3 <b>Producción nueva requerida</b>	18
3.4 <b>Costos de producción</b>	20
3.5 <b>Información de proyectos y año de la evaluación</b>	22
3.6 <b>Sensibilidad de los resultados</b>	24
4. ESTIMACIÓN ESTADÍSTICA	26
4.1 <b>Modelo</b>	26
4.2 <b>Estimación y resultados</b>	27
4.3 <b>Evaluación</b>	30
5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN	32

## 1. RESUMEN

Para la estimación del precio de largo plazo se usa en primer lugar una metodología, que denominamos “precio incentivo”, basada en el análisis de la información del mercado y de las proyecciones de algunas de las variables relevantes para el mercado en el largo plazo. El precio incentivo de la industria se define como aquel precio que asegura la entrada de proyectos para cubrir la demanda futura estimada, y puede considerarse como una aproximación al precio de equilibrio de largo plazo del mercado del cobre. En segundo lugar se usa una aproximación estadística, que modela al precio de largo plazo como un componente no observado del precio del cobre. En términos generales, esta metodología busca descomponer la trayectoria del precio en dos componentes, un componente cíclico, cuyos efectos se desvanecen en el tiempo en ausencia de nuevos impactos (“shocks”), y un componente de tendencia, en que los impactos tienen un efecto permanente, determinando la proyección de largo plazo. También en este caso el componente de tendencia puede identificarse con un precio de equilibrio de largo plazo.

Cada metodología tiene ventajas y desventajas. La aproximación del precio incentivo permite una mejor comprensión de las causas que originan un cambio en la proyección del precio de largo plazo, ya sea a través de cambios en la estructura de costo, en la presión de la demanda, o en el costo de inversión. Sin embargo, involucra la proyección de muchas variables, que no son necesariamente más fáciles de proyectar que el propio precio del cobre. Además, requiere de algunos parámetros y supuestos que se definen en base al juicio. La metodología estadística o econométrica, en cambio, no entrega información respecto de la causa de los cambios en la proyección, pero evita realizar proyecciones de numerosas variables y supuestos basados en el juicio. Además, entrega una estimación del nivel de incertidumbre asociado a la proyección y permite, con ciertas restricciones derivadas de la corta historia de precios del cobre, la evaluación de los errores de proyección.

Además de la estimación del precio de largo plazo del cobre, otro objetivo del estudio es examinar críticamente y en detalle las metodologías, en particular la metodología del precio incentivo, debido a que es de uso común en la industria y entre los analistas del mercado. A partir de este examen puede inferirse el rol que juega el juicio del analista en la estimación, y comprenderse mejor las posibles fuentes de error e incertidumbre en la proyección.

El documento se estructura en cuatro partes. La primera presenta los objetivos del estudio, algunos antecedentes de mercado y una definición más precisa y económica de la variable que buscamos proyectar (el precio de largo plazo). En la segunda se realiza la estimación del precio de largo plazo del cobre a través de la metodología del precio incentivo, se describen las principales variables y parámetros que intervienen en la proyección y se entregan sensibilidades respecto de ellas. En la tercera parte se presenta y estima un modelo econométrico para la estimación del precio de largo plazo del cobre, y se evalúa (en la medida en que los datos lo permiten) su exactitud en términos del error de proyección fuera de muestra, comparando su desempeño con alternativas simples de proyección. En la cuarta parte y final se discuten brevemente los resultados obtenidos.

## **2. OBJETIVOS Y ANTECEDENTES**

### **2.1 Objetivos**

El principal objetivo de este estudio es realizar una estimación del precio de largo plazo del cobre, susceptible de ser usado para la evaluación de proyectos en minería del cobre. Este precio se usa para obtener los flujos de caja de un proyecto minero y determinar su valor presente neto, para efectos de comparación con otros proyectos o determinar su viabilidad, dada una tasa de descuento.

Para ello se usan dos metodologías diferentes. En primer lugar una metodología que busca determinar el precio incentivo de cada proyecto disponible en la cartera global de proyectos, esto es, el precio al que el proyecto está en condiciones de entrar en producción; para luego, en combinación con una estimación de los requerimientos de nueva producción, arribar a un precio incentivo de la industria (aquel que asegura la entrada de los todos los proyectos necesarios para satisfacer el consumo), que puede considerarse como una aproximación al precio de equilibrio de largo plazo del mercado del cobre. En segundo lugar se utiliza una aproximación econométrica, que permite separar el precio del cobre en dos componentes: un componente cíclico o auto-regresivo y un componente permanente o de tendencia, que corresponde, asimismo, a una aproximación al precio de equilibrio de largo plazo del cobre.

El uso de la metodología del precio incentivo se justifica principalmente por ser de amplio uso en la industria y entre los analistas. En el caso de la metodología econométrica seleccionada (generalmente denominada de “componentes no-observados”), la justificación está dada porque se presta para la modelación explícita de la tendencia.

Un segundo objetivo del estudio es examinar críticamente estas metodologías. Dado que no es posible hacer pruebas precisas de la exactitud de las proyecciones del precio de largo plazo (aunque se hace un ejercicio en ese sentido en el caso del modelo econométrico), conviene exponer con la mayor claridad los supuestos involucrados, y las posibles falencias y debilidades de las metodologías.

Una de las razones que hacen difícil probar si una proyección de precio de largo plazo es exacta es la escasez de datos. Si consideramos el precio

promedio por un periodo largo de tiempo (unos veinte años) como una buena aproximación al precio de largo plazo prevaleciente en un punto en el tiempo, para un siglo de precios del cobre sólo dispondremos de cinco datos independientes. A esto debemos agregar que el precio de largo plazo efectivo no será igual, necesariamente, a un promedio de largo plazo. El origen de la diferencia está en que el precio de largo plazo óptimo será la mejor proyección, dada la información disponible en un momento dado: existe un límite a lo bien que podemos proyectar una variable aleatoria. En todo caso, mientras mejor sea nuestra metodología, más nos acercaremos a ese límite.

Cada una de las metodologías analizadas tiene ventajas y desventajas, que es necesario tener en consideración. El precio incentivo usa gran cantidad de información y por lo tanto permite atribuir los cambios en la proyección del precio de largo plazo a variaciones en dichas variables. Por otra parte, requiere de supuestos y de parámetros que deben ser fijados en base a proyecciones independientes y en base al juicio del analista. Tampoco entrega directamente una indicación de la incertidumbre de la proyección. En el caso del procedimiento econométrico, sólo se requiere de la serie de precios del cobre, por lo que el resultado no es informativo respecto de las razones que hacen moverse al precio de largo plazo. En contrapartida, el modelo estimado es relativamente transparente y parsimonioso, y entrega una idea de la incertidumbre asociada a las proyecciones.

La información de duración, costos, producción e inversión de los proyectos proviene de la base de datos de Brook Hunt<sup>1</sup> ("Copper Mine Costs Study, 2007 edition"). Para la serie de precios del cobre se ha usado la serie disponible en Cochilco y datos del USGS<sup>2</sup>, usando el índice de precios de productores de los EE.UU. para deflactarla<sup>3</sup>. En adelante los precios del cobre mencionados corresponden a precios reales en base 2008, salvo que se explicita algo diferente.

---

<sup>1</sup> "Copper Mine Cost Study, 2007 Edition", versión 3.0 de 2008.

<sup>2</sup> Disponibles en [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov).

<sup>3</sup> Disponibles en [www.bgg.gov](http://www.bgg.gov). Cabe notar que la inflación ha sido alta en el último periodo y que este

<sup>3</sup> Disponible en [www.bls.gov](http://www.bls.gov). Cabe notar que la inflación ha sido alta en el último periodo y que este indicador, en comparación con el índice de precio al consumidor, exhibe un crecimiento más pronunciado.

## **2.2 Antecedentes**

Antes de realizar las estimaciones conviene entregar algunos antecedentes relevantes del mercado y hacer algunas precisiones conceptuales.

El mercado del cobre, así como el de otros metales y productos primarios se caracteriza por fuertes oscilaciones y por tendencias persistentes. Estas últimas sugieren que el nivel de equilibrio del mercado es cambiante en el tiempo.

Por ejemplo, si consideramos promedios móviles del precio del cobre de veinte años para el periodo 1920-2008, encontramos un mínimo de aproximadamente 125 c/lb, y un máximo de aproximadamente 250 c/lb. Esto es un claro indicio de que el equilibrio del mercado no ha sido constante y sugiere, además, que usar el promedio histórico para formarse una idea del precio futuro es una mala estrategia.

Otras variables de mercado presentan un comportamiento igualmente irregular, con tendencias persistentes a través de largos periodos de tiempo.

Los costos de producción de cobre, que determinan la estructura de la oferta de largo plazo del cobre, también han presentado una evolución (como se verá más en detalle en la próxima sección). Entre 1980 y 2007 el costo neto a cátodo<sup>4</sup> promedio de la industria minera del cobre tuvo un mínimo de 71,2 c/lb y un máximo de 184,8 c/lb.

El crecimiento del consumo de cobre ha sido altamente volátil año a año, y ha presentado niveles de crecimiento desiguales en distintos periodos. Considerando el crecimiento anual en periodos de veinte años, encontramos un mínimo de aproximadamente 1,2% y un máximo de 5,4% para el periodo 1946-2007.

En resumen, tanto el precio del cobre como algunos de sus determinantes, han presentado fuertes oscilaciones, y tendencias persistentes y diferentes a lo largo del tiempo.

Las estimaciones del precio de largo plazo han sido también variables en el tiempo, como puede apreciarse en la Figura 1, que presenta las

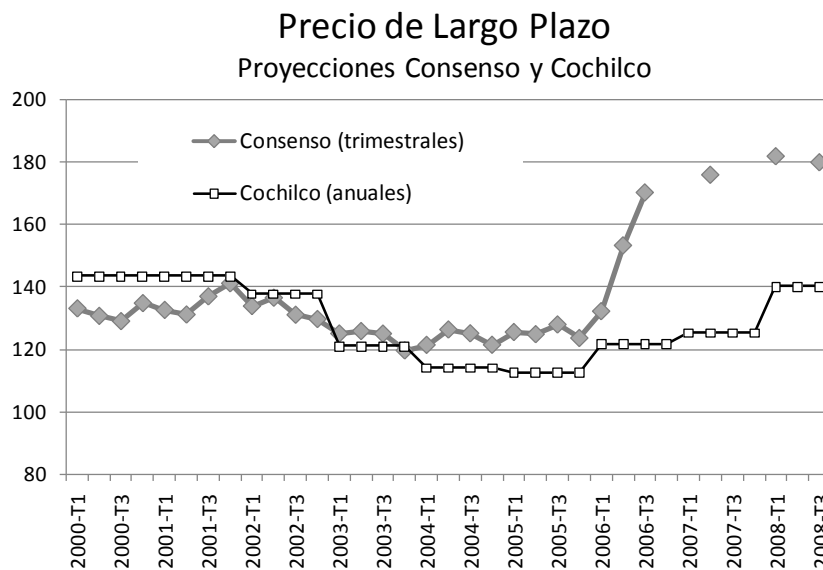
---

<sup>4</sup> El costo neto a cátodo es una medida de costo unitario por libra de cobre producido. Incluye los costos operacionales, los costos indirectos y los intereses (“costo total”) y descuentos por la producción de subproductos como el molibdeno o el oro.

estimaciones de Cochilco (que son anuales), valores de “consenso” (trimestrales) obtenido como el promedio de varias proyecciones hasta el primer trimestre de 2007, y proyecciones puntuales de Brook Hunt al final del periodo.

Puede apreciarse que las proyecciones tienen una tendencia decreciente hasta el 2006, y a partir de entonces se incrementan abruptamente. El precio del cobre había experimentado su mínimo en 2001, lo que sugiere que ante la persistencia de los precios altos, lo que en un principio fue considerado como variaciones cíclicas, más adelante ha sido interpretado como un cambio de nivel permanente.

**Figura 1: Estimaciones recientes del precio de largo plazo del cobre<sup>5</sup>.**



Antes de realizar las estimaciones, presentamos la definición de la variable que buscamos estimar y su significado desde un punto de vista económico.

El precio de equilibrio de largo plazo es aquel para el cual no existen incentivos para la entrada o salida de empresas. En el caso de la minería esto implica que los factores de producción reciben su pago y que los retornos de las empresas en producción son suficientes, mientras que los retornos que obtendrían los proyectos que no están en producción serían insuficientes en el largo plazo.

<sup>5</sup> La fuente de los datos de “consenso” es una encuesta realizada por PricewaterhouseCooper, publicados en su informe “Metals Market Sentiment”. Los últimos puntos de datos, sin embargo, corresponden a estimaciones de Brook Hunt.



Cuando el precio está alejado de este equilibrio, y en ausencia de impactos (o “shocks”) a la demanda o la oferta, el precio del cobre converge hacia el equilibrio de largo plazo, a través de la entrada o salida de empresas de la producción, un proceso que, sin embargo, no es instantáneo, generándose así oscilaciones persistentes en la serie de precios.

Es importante distinguir impactos de corto y largo plazo. Un alza puntual del precio del petróleo, por ejemplo, no llevará inmediatamente a la salida de empresas de producción, pero si la visión de largo plazo del precio del petróleo sube sustancialmente, algunas compañías dejarán de ser rentables y se verán forzadas a salir del mercado, disminuyendo la oferta y afectando el precio de equilibrio.

De lo anterior se desprende que el precio de equilibrio no es estático, y que diversos impactos pueden moverlo en una y otra dirección, como la difusión de nuevas tecnologías, variaciones en las reservas o la calidad de los yacimientos, y también cambios de largo plazo en el crecimiento de la demanda.

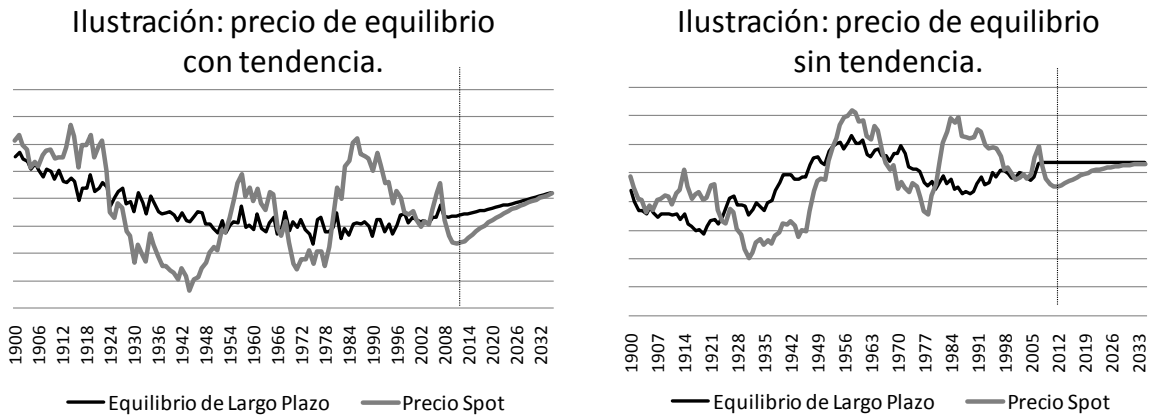
Lo que generalmente se denomina “precio de largo plazo” es un resumen de la proyección del precio de equilibrio de largo plazo del mercado. Cuando la proyección del precio de equilibrio es estable, podemos resumirla en un único número, algo que implícitamente se hace al evaluar proyectos con un precio fijo. Si el precio de equilibrio sigue una trayectoria, el uso de un solo precio de largo plazo no es recomendable, pues será un promedio que depende del horizonte considerado.

En la figura 2 se presentan estos conceptos de modo ilustrativo (no son estimaciones). El gráfico de la izquierda presenta un precio de equilibrio con una clara tendencia (en este caso una tendencia cuadrática), que se proyecta hacia el futuro. Una tendencia cuadrática tiene algún sustento económico en el caso de los metales. En la primera parte primarían el aumento de las reservas y las mejoras tecnológicas, mientras que en la segunda parte primaría la escasez. El gráfico de la derecha presenta un precio de equilibrio de largo plazo variable, pero sin una tendencia determinada, de modo que la proyección es una línea horizontal. Este modelo de precio de equilibrio corresponde al que se estima estadísticamente más adelante.

En ambos casos el precio observado oscila en torno al precio de equilibrio de largo plazo. El carácter cíclico de dichas oscilaciones es reflejo de la

persistencia antes descrita. El precio de equilibrio de largo plazo no se observa directamente, y debe ser estimado.

**Figura 2: Ilustración del precio de equilibrio de largo plazo.**



Otro aspecto importante que se desprende de estas ilustraciones es que la proyección del precio de equilibrio de largo plazo es la proyección óptima del precio cuando el horizonte es mayor. La proyección del precio observado converge rápidamente hacia el equilibrio de largo plazo. En la evaluación de proyectos mineros, los primeros años suelen corresponder a la construcción, por lo que corresponde usar el precio de equilibrio para el momento en que el proyecto entraría en producción. De cualquier manera, si el proyecto comenzara a producir en un horizonte cercano, puede usarse una proyección del precio observado para los primeros años.

Un último aspecto conceptual a considerar es la influencia del crecimiento de la demanda en el precio de equilibrio de largo plazo.

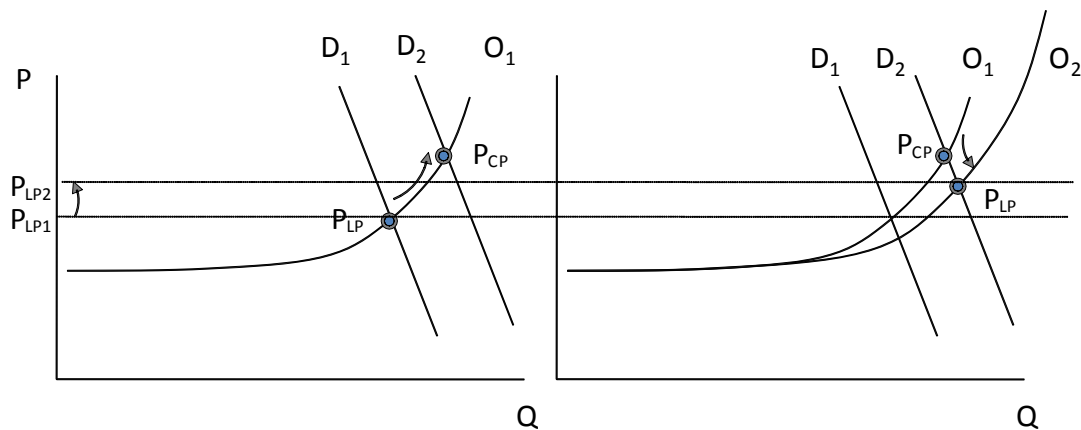
Una curva de oferta de largo plazo horizontal implicaría que el nivel de la demanda no tiene efectos de largo plazo. Sin embargo, en el caso de la producción de cobre, la diferencia en la calidad de los yacimientos conduce a una oferta que no es horizontal sino creciente. En otras palabras, aún cuando se use la misma tecnología y los mismos precios de factores, el costo marginal será diferente en minas diferentes debido a factores técnicos como las reservas, la ley del mineral, el tipo de mineral, la razón lastre mineral, y otras particularidades de cada yacimiento.

La figura 3 ilustra esquemáticamente un cambio en el precio de largo plazo provocado por un cambio en la demanda. Cabe notar que para efectos del cálculo del precio incentivo, la demanda se considerará altamente inelástica respecto del precio, por lo que se hablará

indistintamente de consumo o demanda. En cambio, la demanda es relativamente elástica frente al ingreso, lo que hace que las proyecciones de demanda se deriven a menudo del crecimiento económico o la producción industrial. En la figura 3, un impacto mueve la curva de demanda hacia la derecha, generándose un nuevo equilibrio de corto plazo, pero al estimularse la entrada de nueva producción, el precio converge hacia el equilibrio de largo plazo. Sin embargo, este equilibrio es diferente, debido a que la nueva producción se añade a la parte más extrema de la curva de oferta, cambiando su estructura. Esto puede ocurrir si los proyectos nuevos enfrentan, por ejemplo, leyes más bajas o una menor escala (y no pueden aprovechar rendimientos de escala). Si, en cambio, los nuevos proyectos fueran idénticos a la producción existente, el precio de largo plazo no sufriría variación, pues la oferta crecería proporcionalmente.

**Figura 3: Estructura de la oferta y demanda.**

Cambio en la estructura de costos y precio de largo plazo.



### 3. PRECIO INCENTIVO

#### 3.1 Metodología

Para la proyección del precio del cobre de largo plazo se usa en primer lugar la aproximación del “precio incentivo”, ampliamente aplicada en la industria. Esta aproximación se basa en la identificación del precio que estimula la entrada de producción necesaria para cubrir la demanda futura, en consideración de la rentabilidad mínima que deben obtener los proyectos. En este sentido, esta metodología puede considerarse como una estimación del precio de equilibrio de largo plazo.

Entre los supuestos de esta metodología, como ya se ha señalado, está una demanda altamente inelástica. En otros sectores productivos una mayor demanda no implica un mayor precio de largo plazo, pues es posible aumentar la capacidad al mismo costo imperante usando la misma tecnología. En minería la curva de oferta de largo plazo se asume no perfectamente elástica.

Un segundo determinante del precio incentivo son los costos de producción de largo plazo de los proyectos, así como los niveles de inversión necesarios, que en conjunto buscan aproximar la oferta de largo plazo. Implícitas en estas proyecciones de costos están las proyecciones de los determinantes de los costos, sean de carácter técnico (leyes de mineral, tecnología, etc.), relacionadas con los insumos (trabajo, acero, petróleo y derivados, partes y piezas, etc.), con los subproductos (molibdeno, oro, cobalto, etc.), o con las condiciones económicas (tipo de cambio, inflación). Como se trata de una proyección no cíclica de los costos, cada uno de los determinantes se fija en su nivel de largo plazo. Por ejemplo, no se usa el precio imperante del molibdeno, un subproducto importante de la minería del cobre, sino que una estimación del precio de largo plazo de este producto.

Cambios en los niveles de costos que afectan a toda la industria de manera aproximadamente proporcional pueden considerarse como movimientos de la curva de oferta hacia arriba y hacia abajo, en toda su extensión. Una dificultad importante respecto de estos movimientos es determinar en qué medida son permanentes y en qué medida revertirán. Esto depende, en gran medida, de las perspectivas que se tengan sobre el nivel de *largo plazo* de los determinantes de los costos. Por ejemplo, un cambio permanente en el nivel de precio del petróleo, se traducirá en mayores costos de largo plazo para la industria en su conjunto.

Para cada proyecto puede calcularse el precio al cual la inversión resulta rentable, mediante la fórmula del valor presente neto:

$$0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{(PI - C_t)Q_t}{(1 + TD)^t}$$

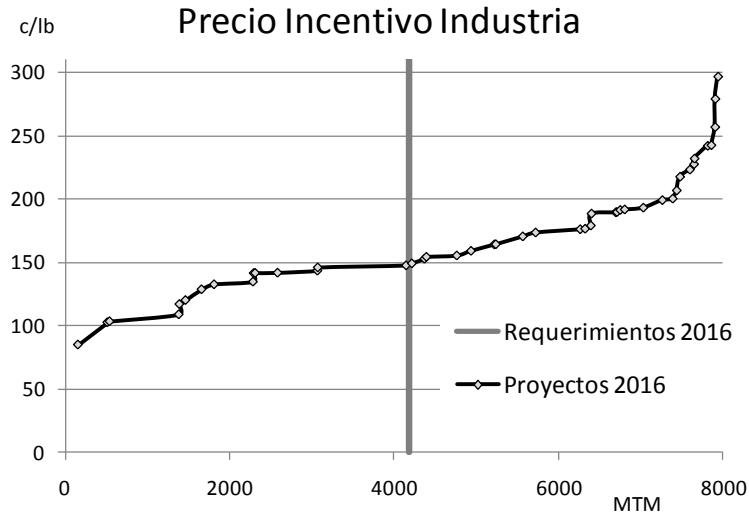
Para hacerlo se requiere información de la producción de cada proyecto (Q), que es ajustada por la producción de subproductos, esto es, se usa producción equivalente; del costo operacional de producción (C), que

incluye además el capital de sustentación requerido para mantener la producción anual; un monto de inversión inicial (I); los años de vida útil del proyecto (n), y una tasa de descuento (TD). De ahí se puede obtener el precio incentivo (PI) para el proyecto en particular.

Si se combinan los precios incentivos de todos los proyectos en cartera, con una proyección de los requerimientos de producción nueva, se arriba a una estimación del precio de equilibrio de largo plazo, tal como se muestra en la figura 4, como el punto de intersección entre la curva de precio incentivo (con la producción acumulada de los proyectos) y los requerimientos de producción, para un año específico (2016).

En esta estimación en particular se ha supuesto que la demanda crece a una tasa de 3,2% anual, lo cual en conjunto con supuestos sobre la disminución de producción de las minas actualmente en operación, la producción de chatarra y las pérdidas metalúrgicas, permite una estimación de los requerimientos, algo más de cuatro millones de toneladas de cobre (en este caso, hablamos de cobre fino y no de cobre equivalente). En cuanto a la cartera de proyectos, ésta está comprendida por proyectos calificados como altamente probables y probables, esto es, aquellos con un mayor grado de avance y probabilidad de desarrollarse. No se dispone de la información necesaria para realizar el cálculo del precio incentivo de todos los proyectos en carpeta, por lo que se usa un factor de expansión de la producción de los proyectos para los cuales sí se tiene información, de modo de equiparar la producción a la del total de proyectos. Finalmente, se usó una tasa de descuento de 15% para todos los proyectos. El resultado, dependiente de estos parámetros, es de un precio de equilibrio de aproximadamente 149 c/lb.

**Figura 4: Precio incentivo para el año 2016. Proyectos altamente probables y probables (expandidos), crecimiento del consumo 3,2%.**



Como se aprecia, un número importante de parámetros intervienen en esta primera aproximación, que deben justificarse y, en caso de incertidumbre, sensibilizarse. Ese ejercicio se realiza a continuación para el caso del crecimiento del consumo, la estimación de los requerimientos de producción nueva, los costos de operación y de inversión, y el año de estimación del precio de equilibrio. Algunos supuestos y parámetros no son sujetos a este examen. Por ejemplo, la demanda se supone altamente inelástica, y la tasa de descuento, fijada en 15%, parece de relativo consenso.

### 3.2 Consumo

Uno de los parámetros importantes para obtener el precio incentivo de la industria es el nivel de consumo esperado en el largo plazo. Para efectos de este cálculo no se realiza una proyección cíclica, que depende del ciclo de negocios de la economía mundial y de los principales países productores, y que resulta altamente volátil, como puede apreciarse en la figura 5, sino que una estimación de la tasa de crecimiento anual más probable para un periodo extendido.

Al respecto puede notarse que ha existido una tendencia decreciente en el crecimiento del consumo de cobre en el periodo considerado (1946-2008), reflejo de una caída sistemática en la intensidad de uso del cobre (la razón entre consumo de cobre y producto), que sin embargo se ha

estabilizado en los últimos años con la irrupción de China como importante consumidor de cobre a altas tasas de crecimiento. Esto ha llevado a una visión más optimista sobre la trayectoria futura del consumo de cobre en el mediano y largo plazo. Como se aprecia en el figura 6, que presenta tasas anuales de crecimiento para un periodo de 10 años (para efectos de suavizar las altas oscilaciones anuales), el crecimiento del consumo en China ha sido elevado y significativamente por sobre el promedio mundial. Sin embargo, al mismo tiempo puede observarse que el crecimiento del resto del mundo ha presentado una tendencia decreciente, de modo que China ha compensado en parte esa caída.

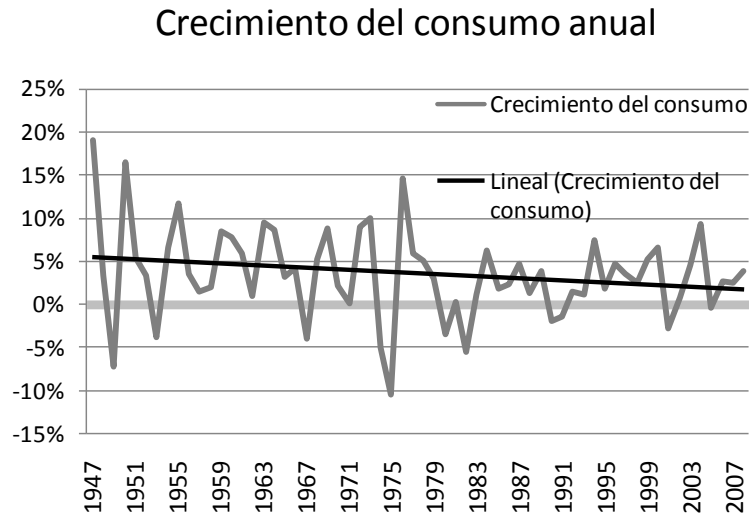
A pesar del alto nivel de crecimiento de China, el crecimiento anual del consumo mundial en los últimos diez años ha sido de 3,2%, que se ha considerado como el escenario central de la proyección. Esto se justifica porque, aun cuando pueda observarse una estabilización del consumo de otras regiones consumidoras, existe consenso en que la trayectoria del crecimiento en China será a tasas elevadas, pero menos que en el periodo reciente. BGRIMM<sup>6</sup> ha proyectado un consumo en China más cercano al 6-7% para los próximos años, cayendo hacia un nivel de aproximadamente 5,4% hacia el 2015. Esta visión comparativamente pesimista se basa en que el estudio atribuye importancia creciente al uso de chatarra, a los efectos de la sustitución, y a poco crecimiento en el uso de cobre en productos de uso final, así como a una moderación en otros sectores de uso final. Brook Hunt, por su parte<sup>7</sup>, ha ido disminuyendo progresivamente sus proyecciones de crecimiento del consumo Chino. A finales de 2007 proyectaba una tasa de crecimiento para China de 7,1% para el periodo 2008-2020, mientras que el tercer trimestre de 2008, esa proyección ha caído a 6,3% anual.

---

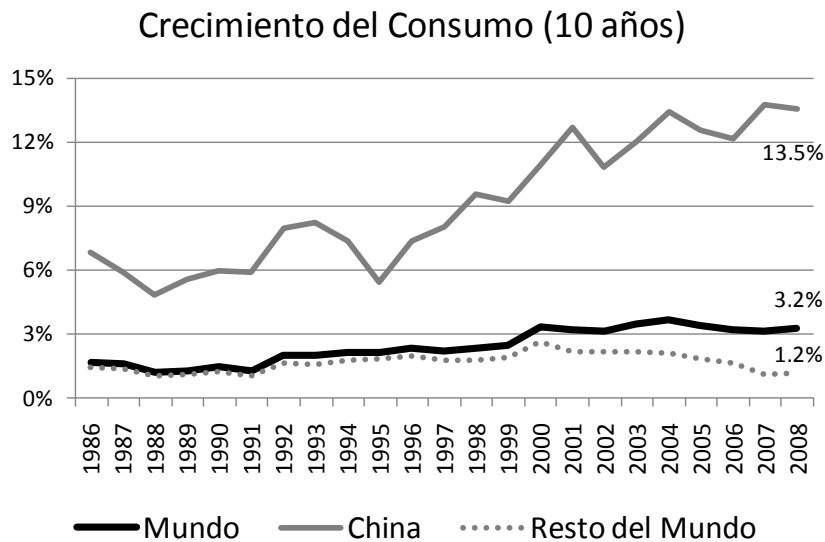
<sup>6</sup> BGRIMM: “The China Factor in Global Copper Usage and its Consequences”, 2007.

<sup>7</sup> Brook Hunt: “The Long Term Outlook for Copper”, tercer trimestre, 2008.

**Figura 5: Crecimiento del consumo global de cobre.**



**Figura 6: Crecimiento del consumo promedio de China y el mundo.**



En cuanto a las demás regiones consumidoras, EE.UU. ha presentado la tasa de caída en el consumo más pronunciada en la presente década, seguido de Europa Occidental y Japón, como se observa en la figura 7, que presenta la evolución del consumo por países consumidores.

Un caso especial lo constituye la Comunidad de Estados Independientes, que ha presentado un alto crecimiento en la presente década, pero luego de una caída aún más pronunciada en la década precedente, lo que



sugiere que el crecimiento actual es en gran medida un “rebote”, la recuperación de una capacidad industrial que se vio afectada con la caída del comunismo. También se suele señalar a países como India y Brasil como con un alto potencial de crecimiento del consumo, pero dados los niveles de consumo actuales, su impacto en el consumo mundial puede tardar todavía varias décadas en dejarse sentir.

**Figura 7: Tendencias en el crecimiento del consumo de cobre refinado.**

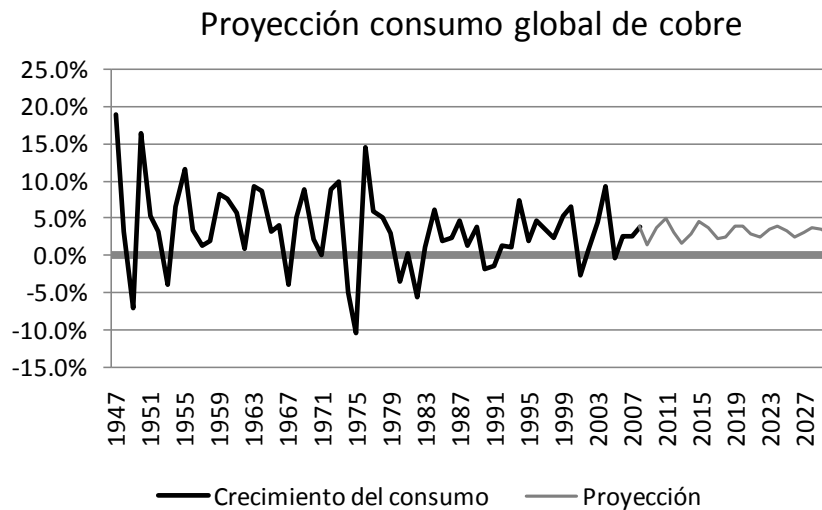
% anual	EE.UU.	Japón	Europa Occ.	CEI	China	Mundo
<b>1960-1969</b>	5,3	11,5	2,3	3,8	3,5	4,7
<b>1970-1979</b>	1,7	5,3	1,5	4,0	8,0	3,4
<b>1980-1989</b>	1,8	1,7	0,9	-0,9	5,9	1,8
<b>1990-1999</b>	3,6	-2,2	2,5	-1,6	9,6	3,0
<b>2000-2008</b>	-4,6	-0,9	-1,5	16,4	13,8	2,5

En base a los antecedentes expuestos se usa un escenario central de un crecimiento del consumo de largo plazo de 3,2% anual. Las proyecciones recientes disponibles son algo más elevadas<sup>8</sup>, aunque se han ido ajustando a la baja recientemente. Para efectos de realizar sensibilizaciones, se usan dos escenarios alternativos, uno pesimista, que básicamente proyecta la tendencia decreciente mencionada anteriormente, de 2,8%, y un escenario optimista, que refleja el optimismo que se desprende de considerar las repercusiones de un crecimiento en China elevado y en cierta manera, desacoplado del resto del mundo, con un 3,6% anual.

Para complementar este análisis puramente aproximativo, se puede realizar una simple estimación univariada del consumo, con lo que se obtiene un resultado similar, que refuerza el escenario central. De la familia de modelos ARIMA, el que obtiene mejor ajuste corresponde a un ARIMA(2,1,2). Los coeficientes son significativos, los residuos se comportan adecuadamente, pero el R<sup>2</sup> es de sólo 0,36. La tasa de crecimiento del consumo anual que se obtiene es de 3,2% (menor que el promedio para toda la muestra considerada, que es de 3,6%), con un rango bastante amplio que va desde el 2% al 4,4%. En la Figura 8 se presenta la trayectoria del crecimiento del consumo y la proyección.

<sup>8</sup> Por ejemplo, CRU ha estimado un crecimiento del consumo a 3,6% para el periodo 2007-2030 (Sólo se dispone de presentaciones resumidas presentadas en el marco de la reunión del Grupo Internacional de Estudios del Cobre, el informe del precio de largo plazo no es de acceso público). Brook Hunt, en “The Long Term Outlook for Copper”, ha realizado un ajuste de su proyección de crecimiento del consumo desde 3,7% a 3,4% entre fines de 2007 y el dato más reciente, del tercer trimestre de 2008. Las proyecciones más optimistas se basan en general en la analogía entre el estímulo al consumo producto del desarrollo industrial de China en la actualidad, y episodios de desarrollo acelerado de economías como Japón, o Corea del Sur en el pasado. Por ejemplo, en la década de los 60 el consumo creció a una tasa de 4,7%.

**Figura 8: Proyección del crecimiento del consumo de cobre con un modelo simple: ARIMA(2,1,2).**



### 3.3 Producción nueva requerida

Por el lado de la producción la proyección se realiza distinguiendo la producción comprometida, proveniente de minas en operación y en construcción, de la producción nueva, proveniente de proyectos cuya realización dependerá, entre otros factores, del precio de largo plazo que se espere, de la rentabilidad que puedan generar.

En la figura 9 se presentan los factores que intervienen en el cálculo de los requerimientos de producción nueva. La primera columna representa la producción de las minas actualmente en operación, sin considerar expansiones, más la producción proveniente de los proyectos actualmente en construcción. Debido al agotamiento de los recursos la producción de las minas actuales presenta una tendencia decreciente (algo más de 2% anual), lo que es importante, pues implica que los requerimientos son mayores que lo que se desprende del puro crecimiento de la demanda (por ejemplo, con un crecimiento del consumo de 3,2%, el crecimiento de la producción debe alcanzar más de un 5% para mantener el mercado en equilibrio).

La segunda columna realiza un pequeño ajuste por pérdidas metalúrgicas (algo menos de 3%) y por posibles extensiones a la vida útil de las minas en operación.

**Figura 9: Requerimientos de producción nueva.**

MTM	Producción Actual y Construcción	Producción Comprometida	Consumo 3,2%	Consumo menos Chatarra	Requer. al 3,2%	Requer. al 2,8%	Requer. al 3,6%
2008	16856	16391	18804	15795	-595	-657	-534
2009	17859	17392	19406	16301	-1091	-1217	-964
2010	18661	18205	20027	16822	-1382	-1577	-1186
2011	18576	18169	20668	17361	-809	-1076	-538
2012	18550	18175	21329	17916	-259	-603	91
2013	18011	17715	22011	18490	774	348	1209
2014	17470	17250	22716	19081	1831	1319	2355
2015	16795	16682	23443	19692	3010	2408	3629
2016	16156	16137	24193	20322	4185	3487	4905
2017	15599	15685	24967	20972	5288	4489	6115
2018	15119	15250	25766	21643	6393	5488	7334
2019	14578	14776	26590	22336	7560	6543	8621
2020	13952	14225	27441	23051	8826	7691	10015

La tercera columna representa el consumo creciendo a una tasa constante de 3,2% (no se trata, por lo tanto, de una proyección cíclica, sino simplemente de aplicar el crecimiento de largo plazo al nivel de consumo del 2008).

La cuarta columna representa un descuento producto de que una parte del consumo es satisfecho con cobre secundario, chatarra de cobre<sup>9</sup>. Se ha realizado un descuento equivalente al 16% del consumo, que corresponde al último valor disponible. Aunque este porcentaje presenta alguna variación, no se dispone de antecedentes que permitan una proyección más fina.

Las restantes columnas muestran los requerimientos a diferentes niveles de crecimiento del consumo. Los primeros años los requerimientos aparecen negativos, en parte porque no se trata de una proyección cíclica, y adquiere validez en un horizonte más amplio, y en parte porque ya se han considerado los proyectos en construcción como parte de la producción comprometida, por lo que no debiera existir, en el corto plazo, demanda para nuevos proyectos. En base a este argumento, el precio incentivo

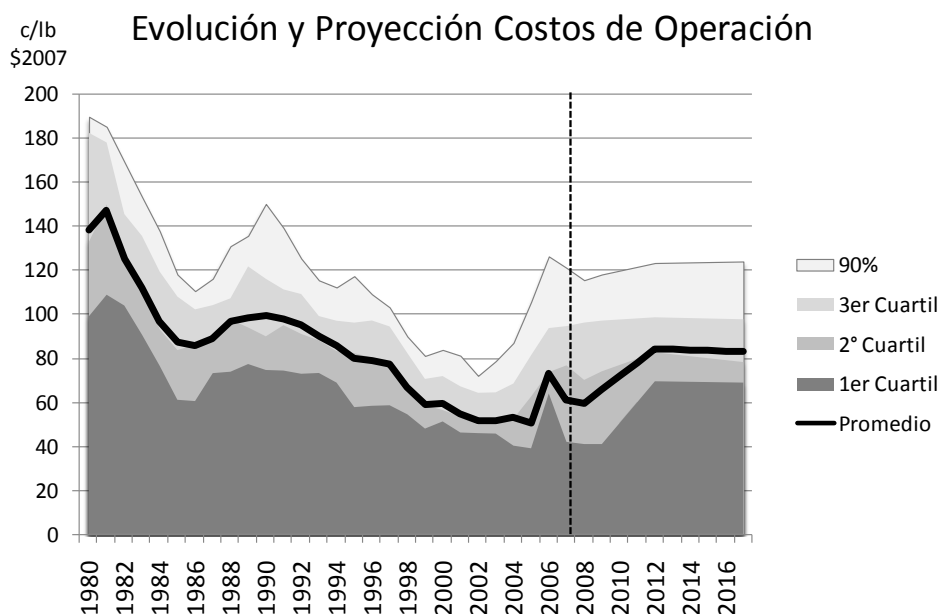
<sup>9</sup> El consumo estimado es de cobre refinado, por lo que no incluye el consumo de chatarra de uso directo.

calculado anteriormente se hizo para el 2016. Aunque podría elegirse otro año (como se verá más adelante), no corresponde usar un horizonte muy cercano.

### 3.4 Costos de producción

Los costos de producción de la minería del cobre presentaron una tendencia decreciente desde el año ochenta (no se dispone de datos con anterioridad), que se revierte en el último par de años. Este comportamiento de los costos de producción puede estar tras el cambio de perspectivas del precio de largo plazo mencionado en la primera parte, en la medida en que los altos precios ya no son vistos sólo como oscilaciones temporales, sino que como resultado de un cambio de nivel permanente.

**Figura 10: Costos unitarios de operación minería del cobre.**



Además de la tendencia, puede observarse, en la figura 10, la dispersión de los costos entre minas. Un 25% de la producción proviene de minas con costos en el área inferior, mientras un 10% de la producción proviene de minas con costos por encima del área superior.

Esta dispersión hace difícil modelar los costos a nivel de proyectos con la información disponible<sup>10</sup>, por lo que se usan las proyecciones disponibles de Brook Hunt, que son sensibilizadas más adelante.

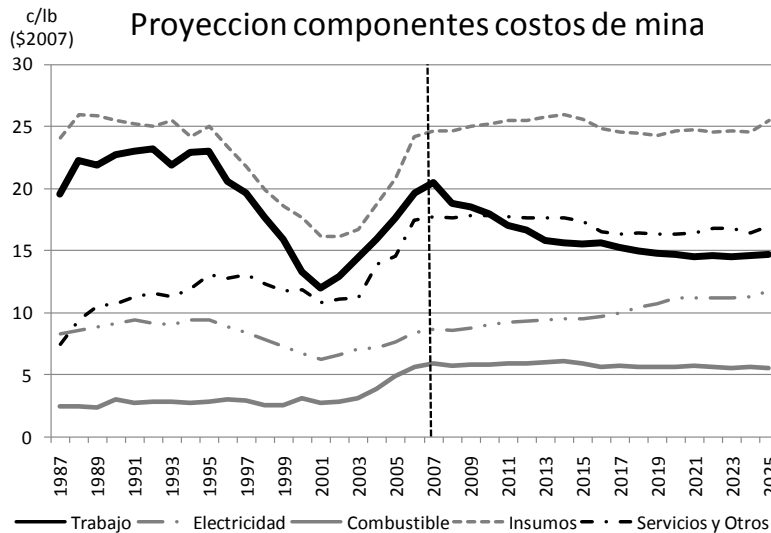
Para efectos de las sensibilizaciones puede tenerse en cuenta la participación en los costos de diferentes factores e insumos. Los costos laborales representan alrededor de un 27% de los costos de mina (del costo a concentrado y del costo a cátodo SxEw, vale decir excluyendo los costos de procesamiento, comercialización e indirectos), los combustibles alrededor de un 7%, la electricidad alrededor de un 12%, los insumos alrededor de un 32%, y los servicios y otros alrededor de un 22%. En los costos unitarios se realizan descuentos por subproductos, que en los últimos años han correspondido mayoritariamente a molibdeno (alrededor de un 55% de los descuentos), y oro (alrededor de un 28%). Los descuentos por subproductos han sido muy importantes en los últimos años, pero en el largo plazo tienen menos peso, pues para el molibdeno se espera un precio de largo plazo más cercano a los 6-7 US\$/lb, en lugar de los más de 30 US\$/lb recientes, y en el caso de oro alrededor de 500-650 US\$/oz, en lugar de los más de 800 US\$/oz recientes.

En la figura 11 puede observarse la evolución y proyección de los componentes de los costos de mina (que excluyen procesamiento, comercialización, costos indirectos). Resulta interesante observar que los costos laborales caen lentamente en la proyección (el supuesto es que se ajustan al ritmo de la inflación, ya que es difícil ajustar sueldos nominales). En cambio, los insumos, en esta proyección, se mantienen a un nivel elevado, incluso en el futuro. Esto resulta algo disputable, y puede tenerse en cuenta al realizar las sensibilizaciones. Por ejemplo, el acero, uno de los insumos importantes (representa alrededor de un 14% de los costos en insumos) ha presentado un precio muy alto recientemente, posiblemente por sobre el nivel de largo plazo. Otro insumo importante es el ácido sulfúrico, que también está en una situación de mercado excepcionalmente estrecha. Un 43% de los insumos corresponden a partes y piezas, cuyos precios también podrían considerarse como pro-cíclicos, vale decir, asociados al ciclo de negocios económicos. El alza sistemática de los costos de electricidad y combustible resulta menos discutible (incluso en el escenario de precios decrecientes posterior a la crisis de octubre de 2008).

---

<sup>10</sup> Se desarrolló un modelo de tipo panel para el costo de operación, incluyendo variables técnicas como ley de mineral, tecnología de producción, tipo de explotación, subproductos, nivel de producción; y económicas; con lo que se consigue explicar alrededor de un 40% de la variabilidad de los costos entre minas.

**Figura 11: Componentes de los costos de mina, evolución y proyección.**



### 3.5 Información de proyectos y año de la evaluación

Los proyectos con información de costos no corresponden al total de la nueva capacidad en cartera, por lo que se requieren ajustes, que se basan en el supuesto de que los proyectos de los cuales no se tiene información de costos distribuyen sus costos de una manera proporcional a aquellos de los que sí se dispone de información.

Además, sólo algunos proyectos de la cartera total pueden considerarse suficientemente avanzados y prioritarios para las compañías como para entrar en producción en el horizonte considerado: los proyectos calificados como altamente probables y probables. Los demás proyectos, calificados como posibles, son mucho más susceptibles a sufrir postergaciones o cancelaciones por razones no sólo económicas (vale decir, no sólo por el precio incentivo). Los proyectos posibles son aquellos que tienen baja prioridad en la cartera de las compañías, independientemente de la calidad del yacimiento. También se incluyen en esta amplia categoría proyectos en etapas muy tempranas de compañías pequeñas.

Esto conduce a realizar el cálculo del precio incentivo usando sólo los proyectos más avanzados y prioritarios en los portafolios de las compañías (altamente probables y probables), pero es inevitable que hacia el final del periodo considerado (hacia 2020) una parte de los proyectos actualmente categorizados sólo como posibles, deban agregarse a la cartera de

proyectos probables. Por eso, estimativamente, en la evaluación del precio incentivo en horizontes más lejanos, se incluyen estos proyectos.

La figura 12 muestra la composición de la cartera de proyectos actual, los niveles de producción potencial de cada año, y la producción potencial de los proyectos con información que permite calcular un precio incentivo, así como el porcentaje que representan del total, desde el año 2012 en adelante (para los años anteriores, como se ha señalado, los proyectos en construcción cubren las necesidades, además que las proyecciones de demanda usando un crecimiento de largo plazo generan inconsistencias en plazos muy cortos).

**Figura 12: Información de proyectos.**

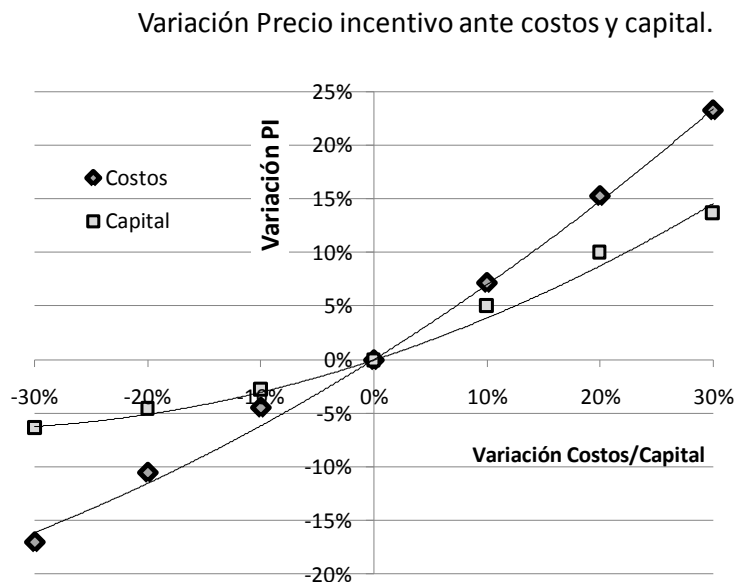
Altamente Probables y Probables				Altamente Probables, Probables y Posibles			
MTM	Total	Con Información	%	MTM	Total	Con Información	%
2012	4135	3065	74%	2012	6522	3937	60%
2013	5795	3603	62%	2013	9586	5350	56%
2014	7029	3625	52%	2014	12504	5804	46%
2015	7627	3949	52%	2015	14396	6422	45%
2016	7939	4546	57%	2016	15503	7020	45%
2017	8467	4526	53%	2017	16413	6987	43%
2018	8963	4770	53%	2018	17166	7270	42%
2019	8871	4732	53%	2019	17270	7198	42%
2020	9026	4655	52%	2020	17722	7026	40%

En la medida en que aumenta el horizonte la cartera de proyectos probables se vuelve menos representativa de las reales opciones de la industria para satisfacer el consumo, pues pueden incorporarse nuevos proyectos a dicha carpeta. Esto hará que el precio de equilibrio calculado en horizontes más lejanos aumente de manera espuria, simplemente en razón de la falta de información completa. Añadir todos los proyectos posibles es una solución de compromiso, pero puede llevar a subestimar el precio de equilibrio, pues muchos de dichos proyectos serán pospuestos o cancelados. El cálculo del precio incentivo de la industria también se ve contaminado en horizontes más cercanos, por las razones antes expuestas. Todo esto implica que existe un grado de incertidumbre importante en la selección del año, que se enfrenta a través del juicio del analista, quien debe considerar cuándo la cartera de proyectos es más representativa de las reales opciones de la industria, algo que también será sensibilizado en la siguiente sección.

### 3.6 Sensibilidad de los resultados

Como se señaló en la sección de costos, es difícil obtener proyecciones independientes de los costos de producción a nivel de proyectos, lo que es necesario para el cálculo del precio incentivo de la industria. La figura 13 muestra el nivel de sensibilidad del precio de equilibrio frente a variaciones porcentuales en los costos de operación y en el costo de la inversión. En vista de lo expuesto en la sección de costos, puede pensarse que los riesgos, en el caso de los costos de operación, están a la baja. Como se aprecia, el precio de equilibrio resulta más sensible a variaciones en los costos de operación que ante variaciones porcentuales equivalentes en el costo de la inversión.

**Figura 13: Sensibilidad ante variaciones en los costos de operación y de la inversión.**



En la figura 14 se presenta la sensibilidad del precio incentivo de la industria ante diferentes escenarios de crecimiento del consumo, realizando la evaluación en diferentes años. Como se señaló en la sección anterior, en horizontes más cercanos los proyectos en construcción cubren los requerimientos de producción nueva, y por tratarse de una estimación del consumo no cíclica, usando una tasa constante, estos requerimientos sólo adquieren validez en un horizonte no tan cercano (un horizonte de seis años parece suficiente, si se considera que los ciclos de negocios suelen



tener una duración igual o menor). Como se aprecia, el precio de equilibrio que se obtiene es creciente en el horizonte, pero esto, más que indicar una trayectoria del precio de equilibrio, es el resultado de la información incompleta. Teniendo en consideración estas dificultades, se ha señalado un rango de años en que los proyectos en carpeta probables pueden considerarse representativos de las opciones reales de la industria en ese momento del tiempo para satisfacer el consumo, obteniéndose así un rango que va desde 128,6 c/lb a 175,9 c/lb. Hacia el final del periodo considerado los proyectos probables serán poco representativos de las reales opciones de la industria, por lo que, como un compromiso, pueden añadirse los proyectos posibles, destacados en la parte derecha de la tabla, teniendo en consideración que pueden subestimar el precio de equilibrio por las razones expuestas en la sección anterior. De todas maneras, este ejercicio de alguna manera refuerza la idea que la tendencia creciente del precio de equilibrio de largo plazo es espuria.

**Figura 14: Sensibilidad del precio incentivo de la industria (c/lb) ante diferentes escenarios de consumo y año de la evaluación.**

Altamente Probables y Probables				Altamente Probables, Probables y Posibles			
Consumo→	2,8%	3,2%	3,6%	Consumo→	2,8%	3,2%	3,6%
2014	108.8	128.6	134.0	2014		108.8	
2015	134.2	143.0	152.8	2015		118.0	
2016	147.5	148.9	158.7	2016		134.6	
2017	149.1	163.5	175.8	2017	140.2	143.0	146.1
2018	164.0	175.9	193.0	2018	143.1	147.4	147.5
2019	176.1	199.1	235.5	2019	147.4	147.5	152.8
2020		238.7		2020	147.5	152.8	163.9

Respecto de la sensibilidad del precio incentivo al crecimiento de la demanda, puede notarse que el rango de precios aumenta a 134 c/lb y 193 c/lb si se usa una tasa de crecimiento de 3,6%, que hasta hace poco podría haberse considerado como un valor de consenso. El escenario pesimista de un crecimiento de largo plazo de 2,8% anual, aunque posible, se considera menos probable.

## 4. ESTIMACIÓN ESTADÍSTICA

### 4.1 Modelo

El modelo que se ocupa para la estimación del precio de largo plazo es un modelo univariado y, por lo tanto, evita realizar proyecciones de las numerosas variables que inciden en los costos de producir cobre. Se basa en la idea de separar los movimientos transitorios del precio (que se desvanecen con el tiempo) de aquellos permanentes, que afectan directamente la proyección de largo plazo.

Debe notarse que el precio de largo plazo no es observable directamente y no corresponde necesariamente a un promedio de varios años. La diferencia entre ambos puede entenderse al definir al precio de largo plazo como la mejor proyección posible del precio en un horizonte lejano, dada la información disponible en el momento. Un promedio de varios años usa información que no está disponible para el cálculo del precio de largo plazo, información que puede ser imposible de anticipar.

Desde un punto de vista económico el componente de tendencia puede identificarse con un precio de equilibrio de largo plazo variable pero sin tendencia. Las diferentes fuerzas económicas que hacen variar el precio de equilibrio de largo plazo – la difusión de tecnologías, variaciones en las reservas, en la ley y otras características técnicas de los yacimientos, en general relacionadas con el agotamiento – presionan en diferentes direcciones de manera independiente a través del tiempo. Si existe algún grado de regresión a la media en el componente de tendencia, los datos parecen indicar que ésta opera muy lentamente, haciéndose indistinguible de un proceso no-estacionario. En un artículo de Pindyck<sup>11</sup>, se da una justificación de un modelo similar para el precio de largo plazo de la energía, partiendo de un modelo de Hotelling y relajando los supuestos restrictivos, para demostrar que la tendencia del precio puede tener un nivel y una tendencia variables en el tiempo (en lugar de la simple tendencia exponencial de un modelo de Hotelling simple). La misma idea de separar el proceso del precio en dos componentes (un camino aleatorio y un proceso autoregresivo) es usada en otro contexto por Schwartz y Smith<sup>12</sup>, con una justificación económica similar a la presentada

---

<sup>11</sup> Pindyck, Robert S.: "The long-run evolution of energy prices," Energy Journal, Volumen 20 N°2, Massachusetts Institute of Technology, 1999.

<sup>12</sup> Schwartz, E. y Smith, J. E.: "Short-Term Variations and Long-Term Dynamics in Commodity Prices," Manage. Sci. 46, 7 (Jul. 2000), 893-911.

en la primera sección de este estudio (entrada y salida de empresas versus impactos de largo plazo).

En el modelo que se presenta a continuación, el componente permanente, que corresponde al precio de largo plazo, se define como un camino aleatorio. Esta definición puede justificarse como resultado de las determinantes tecnológicas y mineras que hacen moverse al precio de equilibrio, que actúan continua e impredeciblemente. El componente transitorio se desvanece paulatinamente y puede considerarse como el resultado de impactos ("shocks") que desplazan temporalmente la oferta o la demanda de su nivel de largo plazo. El regreso al equilibrio no es inmediato, por lo que el componente transitorio se modela como un componente autoregresivo, en este caso de segundo orden. Las innovaciones se distribuyen normalmente y no están correlacionadas:

$$\begin{aligned} \log(y_t) &= \tau_t + \phi_t \\ \tau_t &= \tau_{t-1} + \varepsilon_t & \varepsilon_t &\sim N(0, \nu_\varepsilon) \\ \phi_t &= \beta_1 \phi_{t-1} + \beta_2 \phi_{t-2} + e_t & e_t &\sim N(0, \nu_e) \\ \text{cov}(\varepsilon_t, e_t) &= 0 \end{aligned}$$

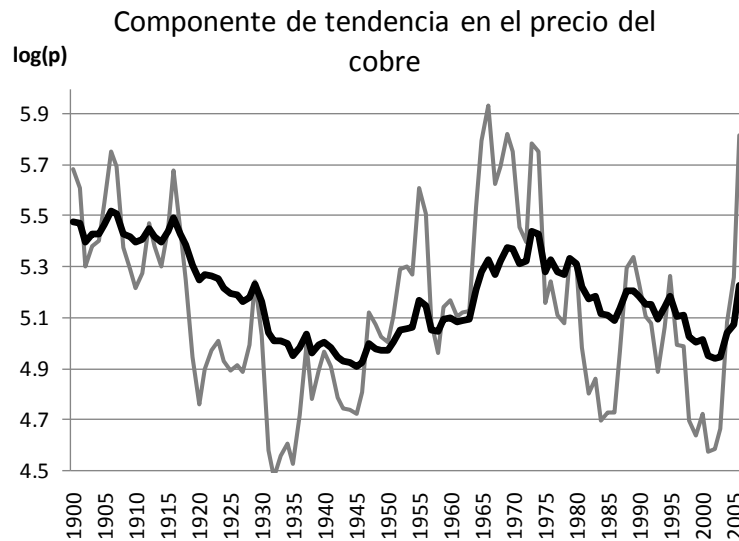
Cabe notar que este modelo está relacionado con otros procedimientos para discriminar entre componentes en una serie de tiempo, como es el caso de la aproximación de Beveridge-Nelson, en que el componente permanente es, básicamente, la proyección de un modelo ARIMA en un horizonte infinito. La aproximación de Beveridge-Nelson es menos restrictiva pues no implica una covarianza nula entre las innovaciones de los dos componentes. Se realizaron estimaciones por esta vía, pero en general el componente permanente obtenido resultaba demasiado variable, siguiendo de cerca las fluctuaciones del precio.

## 4.2 Estimación y resultados

El modelo se estima mediante el filtro de Kalman. En este tipo de estimación deben fijarse las condiciones iniciales de los estados (el precio de largo plazo y el componente cíclico), así como de sus varianzas. Para lo primero pueden emplearse los resultados de una estimación MCO con los primeros datos de la muestra, y para las varianzas un número arbitrariamente grande, que refleja la incertidumbre de esa estimación inicial.

En la figura 15 puede observarse el componente permanente (que en esta aproximación equivale a la mejor proyección de largo plazo en un punto del tiempo) y el logaritmo precio del cobre.

**Figura 15: Componente permanente del precio del cobre.**



El estado final del componente permanente sugiere que la mejor proyección del precio de largo plazo es aproximadamente 187 c/lb. El precio de largo plazo alcanza un mínimo en 2002 de aproximadamente 140 c/lb, lo que implica un alza de un 6% anual en los últimos años.

**Figura 16: Resultados del modelo.**

	Coficiente	Error Estándar	Estadístico - z	Probabilidad
Beta 1	1.015757	0.083011	12.23645	0.0000
Beta 2	-0.204838	0.094656	-2.164013	0.0305
Varianza tendencia	0.002488	0.003128	0.795335	0.4264
Varianza ciclo	0.027876	0.004179	6.669765	0.0000
	Estado Final	RECM	Estadístico - z	Probabilidad
Tendencia	5.231275	0.195348	26.7793	0.0000
Ciclo	0.484267	0.22809	2.123141	0.0337
Ciclo auxiliar	0.595315	0.188872	3.151946	0.0016

Puede apreciarse que el componente cíclico tiene alta persistencia y alta varianza, y por consiguiente su efecto tarda en desvanecerse. Si un AR(2) es insuficiente para capturar la dinámica del componente cíclico, una parte de la persistencia de los ciclos podría estar siendo atribuida

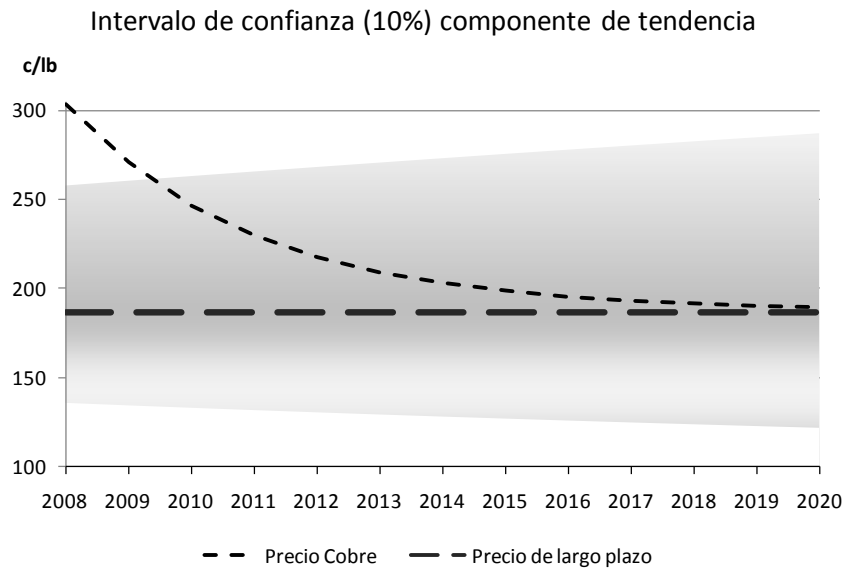
incorrectamente al componente permanente, lo que en el presente escenario de precios altos, implicaría una sobrestimación del precio de largo plazo.

El modelo no incorpora información de las recientes caídas en los precios, que en octubre de 2008 ya había bajado de los 220 c/lb, y ha continuado descendiendo. Como una forma de incorporar esta información se corrió el mismo modelo, pero agregando el año 2008 con el precio promedio prevaleciente hasta el momento, y suponiendo que el último precio se mantiene durante el 2009. El resultado es una baja en el componente de tendencia hasta los 176 c/lb. También se intentó ampliar el modelo para permitir una tendencia en el componente permanente. Esto es, en lugar de modelarlo como un puro camino aleatorio, se modeló como un camino aleatorio con deriva ("drift"). La tendencia resulta ser decreciente, y se obtiene un precio de equilibrio en torno a 160 c/lb al comienzo del periodo de proyección, pero el coeficiente de deriva no resulta significativo.

En los resultados de la figura 16 puede notarse que la varianza del componente permanente es pequeña (lo cual es de esperar) y no resulta significativa. Eso lleva a que la incertidumbre de la estimación de este componente sea bastante (135 c/lb – 257 c/lb).

En la figura 17 se presenta un intervalo de confianza al 10%, y además se presenta la trayectoria proyectada del precio. También puede observarse que la incertidumbre crece debido a que se trata de un camino aleatorio.

**Figura 17: Incertidumbre en componente de tendencia.**



### 4.3 Evaluación

En esta sección se intenta evaluar, en la medida de lo posible, la exactitud de las proyecciones que entrega este modelo. Como el precio de equilibrio no es directamente observado, se comparan las proyecciones con promedios del precio del cobre en periodos largos (15, 20, 25 años). Dado que la historia del precio del cobre es relativamente reciente, esto implica que no se poseen muchos puntos de comparación independientes (en un periodo de cien años, sólo cinco puntos independientes de veinte años). Se usan ventanas móviles comparando la proyección fuera de muestra del modelo con el promedio efectivo del precio hacia adelante, usando los precios desde 1930 hacia adelante. Esto implica que habrá unas 59 proyecciones para testear pero, como se ha señalado, éstas no son independientes (una mala proyección en un año en particular implica una mala proyección en los años vecinos, y viceversa).

Como se está intentando describir el curso del precio en el largo plazo, es poco lo que se puede mejorar en este aspecto, considerando la corta historia de la serie de precios.

Para efectos de comparación se han realizado proyecciones alternativas con otros modelos simples, para todos los cuales se calcula el error fuera de muestra, que se presenta en la figura 18.

**Figura 18: Evaluación (aproximativa) del error de proyección del modelo.**

Raíz Error Cuadrático Medio (c/lb)			
Comparación con promedio de →	15 años	20 años	25 años
N° Observaciones (no independientes)	64	59	54
Modelo CNO	<b>51.74</b>	<b>57.01</b>	<b>63.39</b>
Filtro HP	58.01	64.00	70.16
Tendencia Lineal	65.69	67.79	70.05
Tendencia Cuadrática	78.07	86.30	95.08
Promedio últimos 10 años	68.76	71.49	71.21

Resulta interesante notar que la peor estrategia es usar una tendencia cuadrática para proyectar fuera de muestra, seguido del promedio de los últimos años.

También se calculó el filtro de Hodrick-Prescott, usando el resultado de la tendencia en el último año como proyección. La elección de este filtro se justifica por su amplio uso en un problema, análogo al presente, en macroeconomía: la estimación del componente permanente del producto (PIB). Este filtro se define como el componente de tendencia ( $\tau$ ) que minimiza la siguiente expresión:

$$\min \sum_{t=1}^T (y_t - \tau_t)^2 + \lambda \sum_{t=2}^{T-1} (\tau_{t+1} - \tau_t) - (\tau_t - \tau_{t-1})^2$$

El parámetro ( $\lambda$ ) determina la suavidad de la curva de tendencia. Este parámetro no es estimado, sino que se fija en 100 para datos anuales, pues esto ha probado ser efectivo para filtrar las frecuencias asociadas al ciclo de negocios.

Cuando el error se define como la diferencia con un promedio de 15 años, el error es similar al del modelo de componentes no-observados, pero al menos para esta (pequeña) muestra, es mayor cuando la comparación se hace con promedios en plazos más largos.

Aunque, por las razones expuestas, es difícil probar la exactitud de proyecciones de largo plazo del precio del cobre, al menos el modelo propuesto no lo hace peor que las alternativas. Considerando la magnitud significativa de los errores, la diferencia con el filtro HP es desdeñable en la comparación con promedios de quince años hacia adelante, pero parece

crecer a favor del modelo de componentes no-observados cuando la comparación es con horizontes mayores.

## **5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN**

Luego del análisis y sensibilización realizado en relación con la metodología del precio incentivo, debe resultar claro que es riesgoso limitarse a entregar solamente un valor como precio de largo plazo del cobre, siendo recomendable mencionar un rango de precios posibles, dados ciertos supuestos, que hemos acotado a aproximadamente 129-176 c/lb en un escenario de crecimiento del consumo de 3,2% y de 134-193 c/lb en un escenario de crecimiento del consumo de 3,6% anual. De todas formas, este rango excluye algunos de los pronósticos más optimistas, que veían al precio de largo plazo por sobre los dos dólares por libra, y asimismo, sustenta la idea de consenso de que el precio de largo plazo se ha incrementado efectivamente en los últimos años.

El rol que juega el juicio del analista en esta metodología es importante. La estimación del consumo de largo plazo no es necesariamente más simple que la proyección del precio del cobre, y lo mismo puede decirse de otros parámetros involucrados en la proyección, como los precios de insumos importantes, de subproductos, etc. Algunos de los supuestos simplificadores no están sustentados empíricamente, pero parecen razonables en el contexto del mercado del cobre, como la alta inelasticidad de la demanda, o la aplicación de una tasa de descuento de 15%.

Frente a estas desventajas, la aproximación del modelo de precio incentivo ofrece al analista una visión completa e intuitiva de la evolución y tendencias del mercado y no requiere de técnicas complejas.

En contraste, una aproximación econométrica como la presentada ofrece muy poco en términos de intuiciones o explicaciones respecto de la evolución y tendencias del mercado. Pero en cambio tiene la ventaja de que su aplicación es transparente y relativamente libre de supuestos poco visibles. Teóricamente, si se dispusiera de una larga historia de precios del cobre, sería factible probar la exactitud del modelo y añadir refinamientos que permitieran mejorarlo. Dada la escasez de datos, se ha realizado un ejercicio de evaluación de las proyecciones fuera de muestra, con los defectos ya mencionados en el texto, y al menos en este contexto, supera la prueba. El nivel de tendencia estimado con datos hasta el año 2007 es superior (187 c/lb) incluso al rango alto entregado por la metodología del



precio incentivo. Al entregarle al modelo econométrico información adicional, expandiendo la muestra (de una manera no enteramente ortodoxa, pues se hace a través de una proyección), el valor obtenido (176 c/lb) queda en el rango alto de la proyección a través del precio incentivo obtenido con tasa de crecimiento del consumo de 3,2%, y algo más cercano al punto medio del rango obtenido a través del precio incentivo cuando se usa una tasa de crecimiento del consumo de 3,6% anual.

El objetivo del estudio, además de obtener las proyecciones, ha sido un examen crítico de las metodologías, el cual revela el alto grado de incertidumbre asociado a la estimación de este parámetro esencial para la evaluación de proyectos mineros, lo que sugiere que los procesos de evaluación de proyectos mineros debieran dar cuenta de esa incertidumbre.

**Este trabajo fue elaborado en la Dirección de Estudios por**

**Erik Heimlich**  
**Coordinador Economía y Econometría**

**Noviembre 2008**