

# **Proyección del Precio de Largo Plazo del Cobre**

Erik Heimlich M.  
Dirección de Estudios  
Comisión Chilena del Cobre

Presentación ante el Consejo de Cochilco, 11 Noviembre 2008.

Parte 1

## **OBJETIVOS Y ANTECEDENTES**

Parte 2

## **PRECIO INCENTIVO**

Parte 3

## **MODELO ECONOMETRICO**

Parte 4

## **CONCLUSIONES**

Parte 1

# **OBJETIVOS Y ANTECEDENTES**

# Objetivos

- Estimación del Precio de Largo Plazo (PLP) por dos metodologías:
  - *Precio Incentivo (PI): Precio de Equilibrio de Largo Plazo que garantiza la entrada de la nueva producción de cobre requerida para satisfacer el crecimiento de la demanda y la caída en la producción.*
  - *Modelo econométrico “componentes no-observados” (CNO): separación de la tendencia o componente permanente y el ciclo en la serie de precios del cobre.*
- Evaluación crítica de las metodologías
  - *Cada metodología tiene ventajas y desventajas.*
  - *PI permite comprender los fundamentos de los cambios en el PLP, pero requiere supuestos y parámetros en base al juicio.*
  - *CNO entrega poca información de los fundamentos de variaciones en PLP, pero es transparente, entrega indicación de la incertidumbre y, hasta cierto punto, puede evaluarse.*
- Conclusiones y recomendaciones.
  - *El PLP es una variable aleatoria: su proyección importa incertidumbre. El desarrollo de proyectos mineros es una decisión estratégica en un ambiente de riesgo.*
  - *El PLP estimado por PI refleja en alguna medida el **juicio** del analista.*
  - *El PLP estimado por CNO puede subestimar el componente cíclico.*

# Motivación

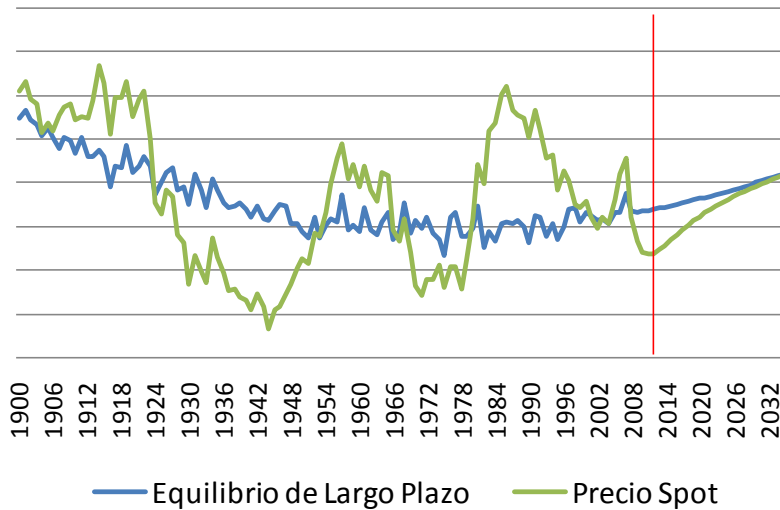
- PLP es parámetro fundamental en evaluación de proyectos.
- Nivel de equilibrio parece variar considerablemente:
  - *si consideramos promedios móviles de 20 años para el periodo 1920-2008 encontramos un mínimo de ~120 c/lb (1927-1947) y un máximo de ~250 c/lb (1954-1974).*
  - *El promedio histórico no es una buena guía.*
- Cambios en equilibrio reflejan cambios en estructura de la oferta...
  - *Tecnología, calidad del recurso, precios de largo plazo de insumos y capital (determinantes de los costos de largo plazo).*
  - *Grandes variaciones de costos:*
    - *Costo neto a cátodo promedio, entre 1980 y 2007, con un mínimo de de 71,2 c/lb y un máximo de 184,8 c/lb.*
- ... y en el crecimiento de la demanda.
  - *Que tampoco ha sido estable en torno a un promedio fijo: si consideramos periodos móviles de 20 años en el intervalo 1946-2008 encontramos un mínimo de 1,2% (1973-1993) y un máximo de 5,4% (1946-1966).*

# PLP y Equilibrio de Largo Plazo

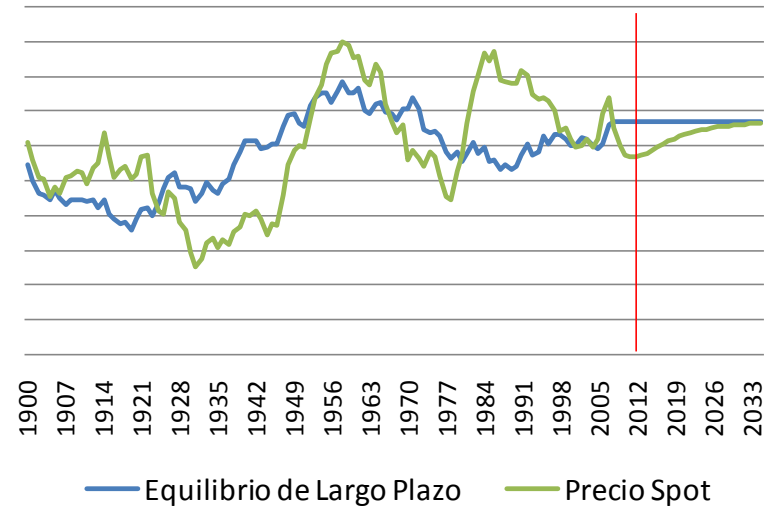
- Precio de Equilibrio de Largo Plazo es aquel para el cuál no existe incentivo para la entrada o salida de empresas.
- En ausencia de “shocks” a la demanda y a la oferta (caeteris paribus), esperaríamos que el precio convergiera hacia el Equilibrio de Largo Plazo.
- El Precio Spot tiene un carácter cíclico (o autoregresivo), dado justamente por retornos muy altos (o muy bajos) que estimulan la entrada y salida de empresas, cuando el precio está lejos del Equilibrio de Largo Plazo.
- El Precio de Equilibrio de Largo Plazo puede cambiar con el tiempo:
  - leyes más altas, mejoras tecnológicas, aumento de las reservas, menor demanda de largo plazo, implicarán un Precio de Equilibrio de Largo Plazo menor, y viceversa.
- El Precio de Largo Plazo, por su parte, resume nuestra proyección de la evolución del Precio de Equilibrio de Largo Plazo:
  - Cuando nuestra proyección es de un Equilibrio de Largo Plazo estable,  $PLP=PE$ .
  - En caso contrario el PLP es el promedio del PE para un horizonte determinado.
- La Proyección del PE (PLP) es la mejor proyección disponible para horizontes lejanos.

# PLP y Equilibrio de Largo Plazo: Ilustración.

**Ilustración: PE con tendencia.**



**Ilustración: PE sin tendencia.**

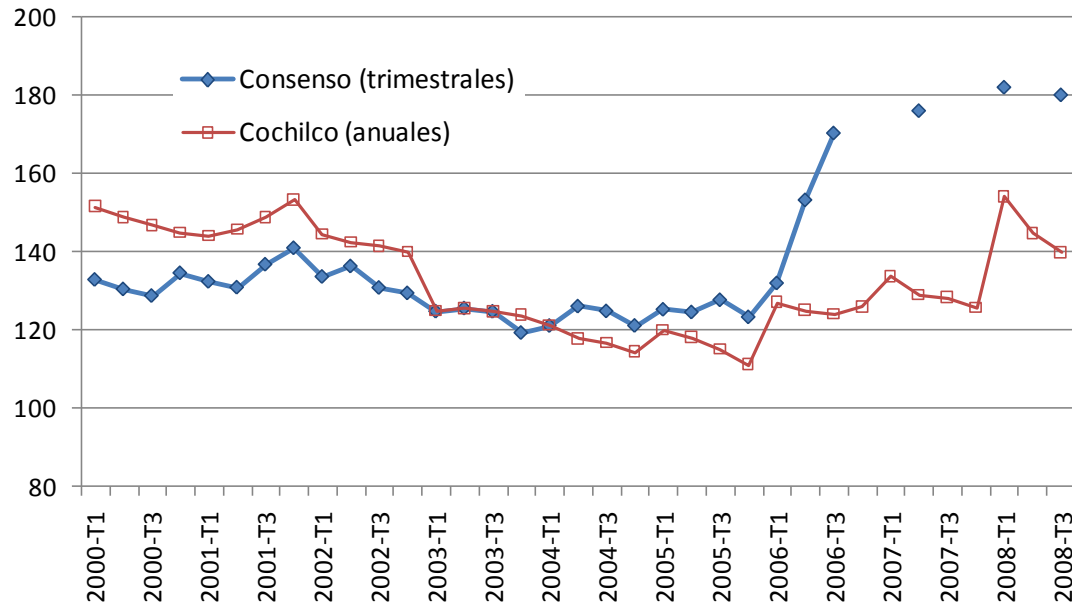


- El ejemplo de la izquierda muestra el Precio de Equilibrio de Largo Plazo siguiendo una tendencia cuadrática (en el primer periodo priman las mejoras tecnológicas, y en el segundo el agotamiento del recurso). PLP depende del horizonte.
- El ejemplo de la derecha muestra un Precio de Equilibrio de Largo Plazo que oscila, pero sin tendencia, por lo que nuestra proyección será horizontal (PE=PLP).
- El Precio de Equilibrio de Largo Plazo no es directamente observable: debemos estimarlo.
- El promedio del PE hacia adelante es la mejor proyección posible en horizontes lejanos.

# Proyecciones de PLP

## Precio de Largo Plazo

Proyecciones Consenso y Cochilco (\$2008)



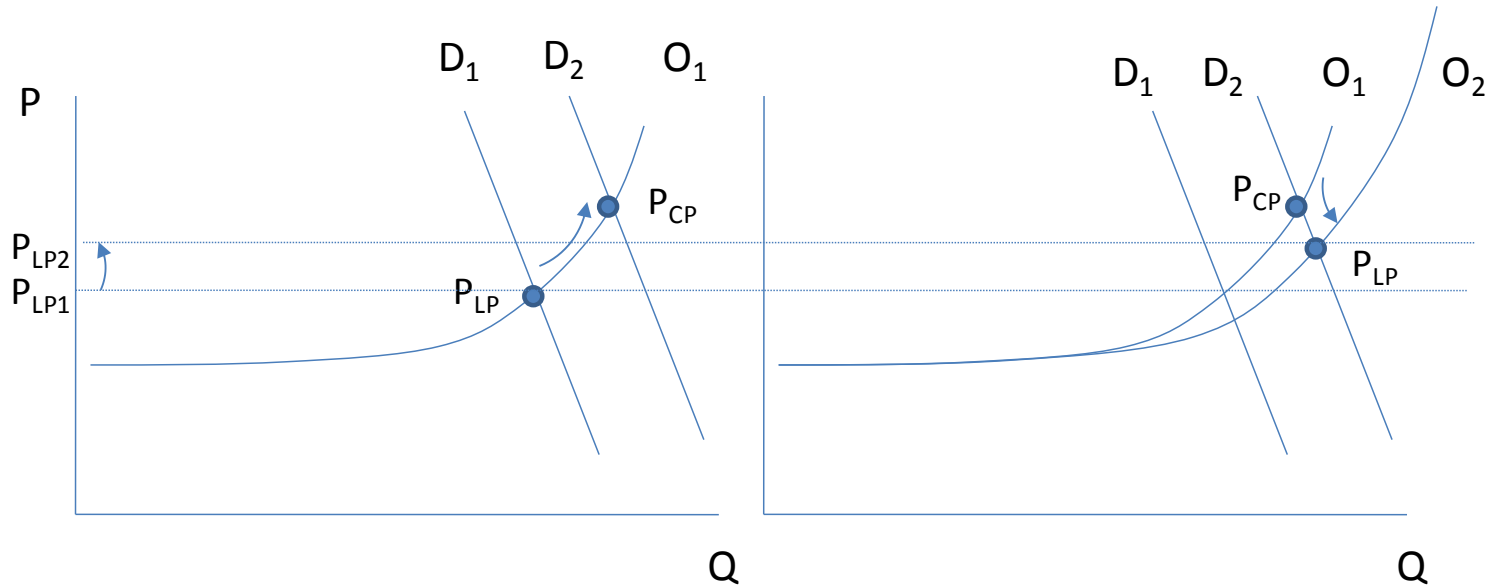
- El precio del cobre ha subido desde el 2001, y marcadamente desde el 2003.
- El PLP de consenso sufre un ajuste más tarde, a partir del 2006. Lo que en un principio se estimaban variaciones cíclicas, con el tiempo han sido vistas como un cambio permanente de nivel.
- La tendencia decreciente imperante hasta 2006 es consecuencia de la tendencia decreciente de los costos, que se rompe, asimismo, tardíamente.

Parte 2

# **PRECIO INCENTIVO**

# Equilibrio de Largo Plazo

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

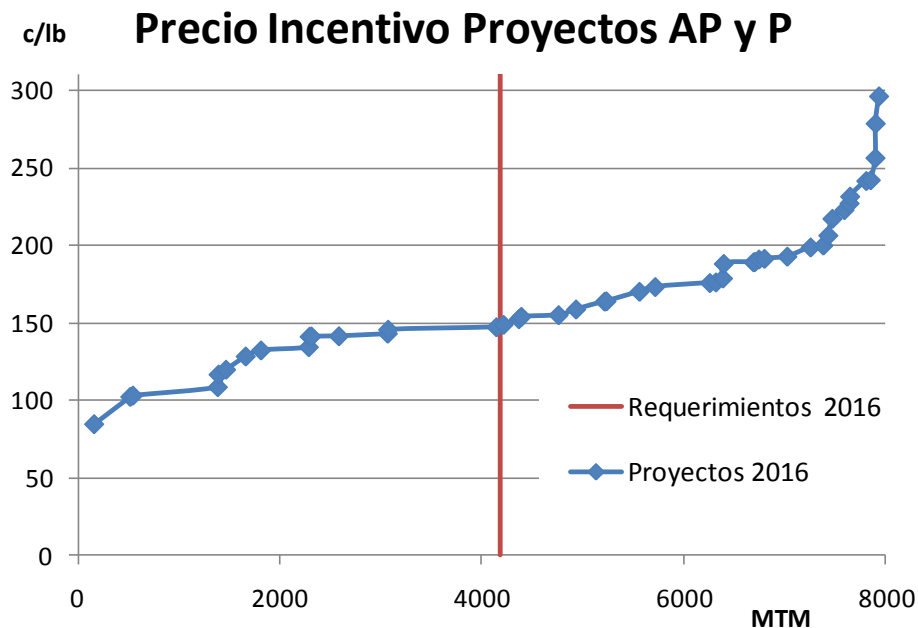


- El precio incentivo puede considerarse como una aproximación al Equilibrio de Largo Plazo. (La demanda de largo plazo es, en este análisis, altamente inelástica).
- Debido a las diferencias en la calidad de los yacimientos la curva de oferta no es horizontal, incluso en el largo plazo.
- Cambios en los costos desplazan la curva; cambios en la estructura de costos de los nuevos proyectos cambian la forma de la curva.
- El Precio de Equilibrio de Largo Plazo puede evolucionar con el tiempo.

# Definición del Precio Incentivo

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

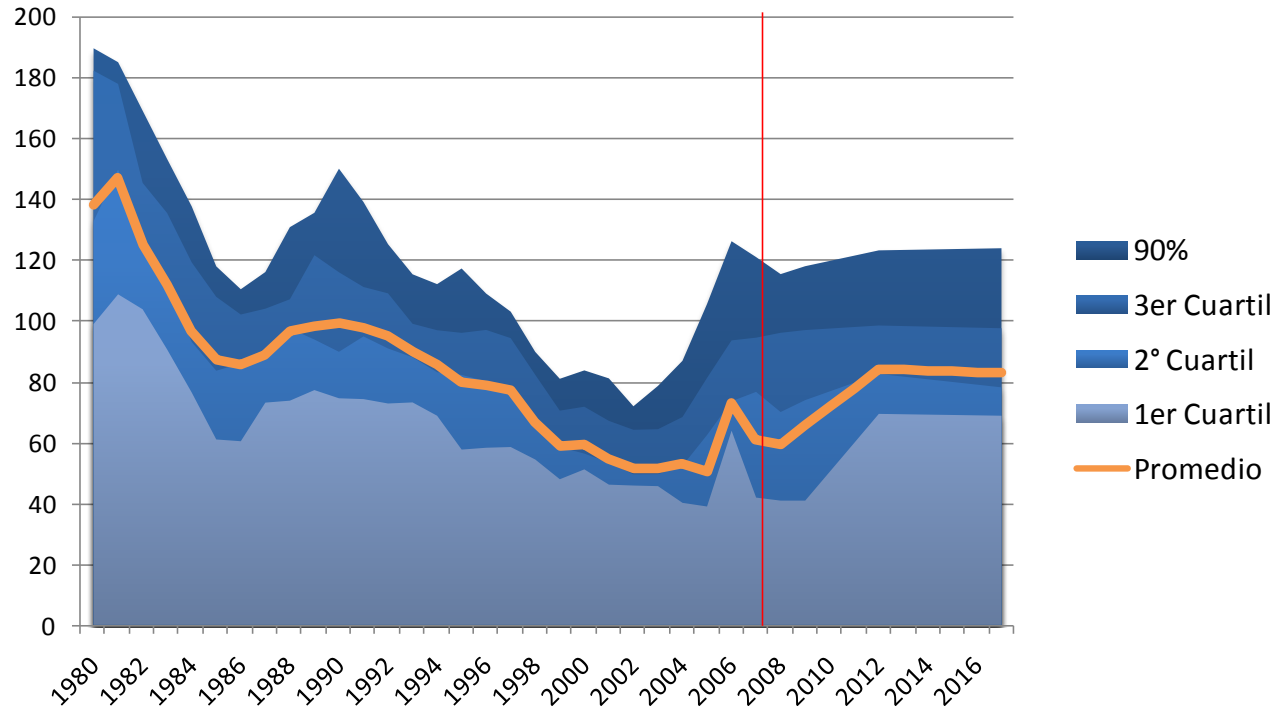
- Aquel precio que asegura la inversión en los proyectos necesarios para satisfacer la demanda futura y las caídas de producción.
- Cada proyecto tiene un PI individual, en tanto el PI a nivel de la industria será el PI del proyecto marginal (No hay incentivo para entrada/salida), esto es, el Precio de Equilibrio de Largo Plazo estimado para un año determinado.
- Para el cálculo del PI de cada proyecto se requieren proyecciones de producción potencial, de la vida útil, de los costos de producción, de la inversión inicial y posterior requerida, así como de la tasa de descuento.
- Para el cálculo del PI a nivel de la industria (el Precio de Equilibrio de Largo Plazo) se requiere, además, una proyección de las caídas de producción en las minas actuales, y del crecimiento de la demanda.



- Este cálculo requiere los siguientes parámetros:
  - Tasa de crecimiento consumo: 3,2% anual (+descuento por Chatarra; pérdidas metalúrgicas+; caídas producción actual).
  - Evaluación en año 2016 a una tasa de descuento de 15%.
  - Proyectos Altamente Probables + Probables (expandidos).
  - Costos y PLP subproductos → Brook Hunt.
- Resultado 149 c/lb.

c/lb  
\$2007

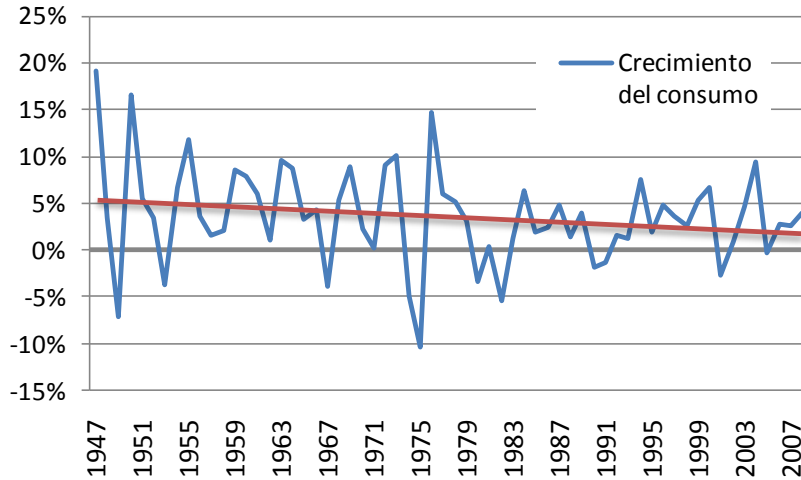
## Evolución y Proyección Costos de Operación



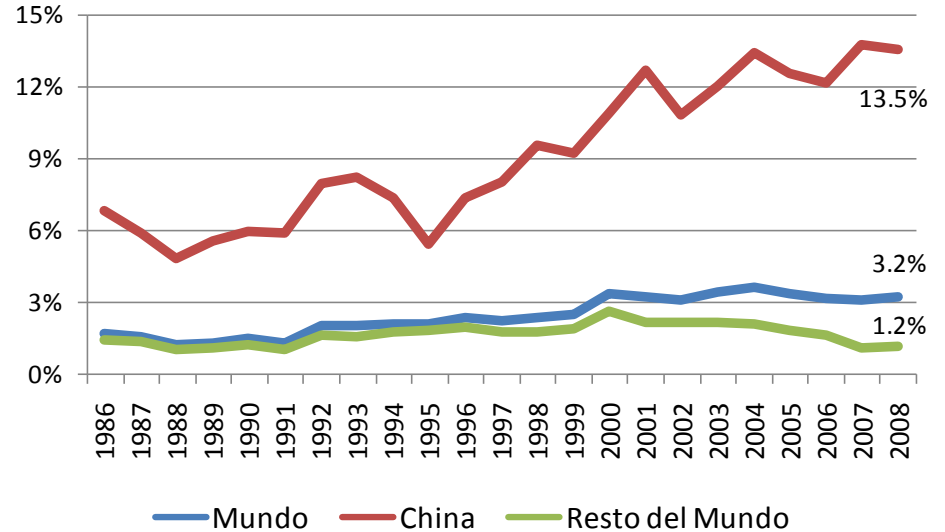
- Los costos de las minas y proyectos dependen en gran medida de factores técnicos (ley de mineral, razón lastre-mineral, tecnología (fundición vs lixiviación), tipo de explotación (subterránea vs. rajo abierto), dureza de la roca, ubicación geográfica, etc.
- También depende de factores económicos: precios de insumos y subproductos, inflación local en países productores, etc.
- Se usaron datos Brook Hunt pues es difícil estimar costos a nivel de mina en base a información disponible.

# Parámetros: Consumo.

## Crecimiento del consumo anual



## Crecimiento del Consumo (10 años)



- Crecimiento en los últimos 10 años (periodo que incluye el factor China): 3,2%.
- Leve tendencia decreciente en el largo plazo (1946-2008).
- China ha sostenido el crecimiento en última década, pero en gran medida ha compensado caídas en otras regiones.
- Crecimiento de largo plazo de China en torno a 6-7%. Otros países en desarrollo en etapas muy tempranas (India, Brasil), Rusia alto crecimiento pero posiblemente de manera temporal.
- **Escenario base:** 3,2% estabilización del consumo.
- **Escenarios alternativos:** 2,8% continuación tendencia decreciente; 3,6% (Brook Hunt) refleja optimismo por efecto China.

# Parámetros: Requerimientos.

MTM	Producción Actual Construcción	Producción Comprometida	Consumo 3.2%	Consumo menos Chatarra	Requerimientos al 3,2%	Requerimientos al 2,8%	Requerimientos 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

- Para el descuento de la chatarra se usa última cifra disponible (~16%).
- La producción comprometida incluye posibles extensiones a la vida útil de las minas y resta pérdidas metalúrgicas.

# COCHILCO Parámetros: Año de la Evaluación y Tipo de Proyectos.

COMISIÓN CHILENA DEL COBRE

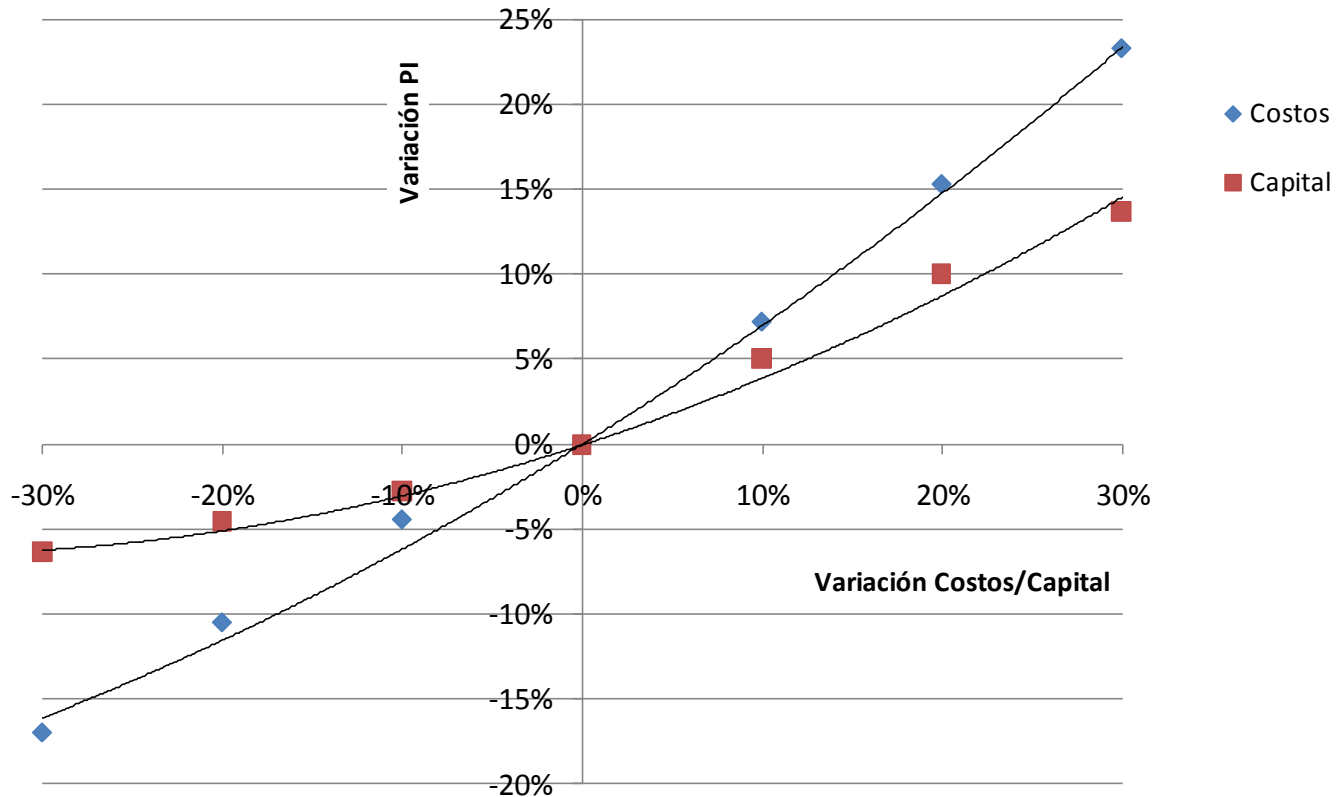
Altamente Probables y Probables			
MTM	Total	Con Información	%
2010	993	764	77%
2011	2050	2141	104%
2012	4135	3065	74%
2013	5795	3603	62%
2014	7029	3625	52%
2015	7627	3949	52%
2016	7939	4546	57%
2017	8467	4526	53%
2018	8963	4770	53%
2019	8871	4732	53%
2020	9026	4655	52%

Altamente Probables, Probables y Posibles			
MTM	Total	Con Información	%
2010	1331	1019	77%
2011	3419	2475	72%
2012	6522	3937	60%
2013	9586	5350	56%
2014	12504	5804	46%
2015	14396	6422	45%
2016	15503	7020	45%
2017	16413	6987	43%
2018	17166	7270	42%
2019	17270	7198	42%
2020	17722	7026	40%

- Los proyectos con información de costos no corresponden al total de proyectos existentes.
- Los proyectos Altamente Probables y Probables (en base al desarrollo de los proyectos) tienen especial relevancia para un horizonte más cercano.
- En un horizonte más lejano es necesario que entren a producir proyectos actualmente calificados como sólo Posibles (de menor desarrollo y más inciertos).

# Sensibilización: Costos y Capital.

Variación PI ante costos y capital.



- El precio de equilibrio se muestra relativamente más sensible a las variaciones de costos de largo plazo que a la inversión, particularmente a mayores niveles de variación.

Proyectos en construcción ↑

Proyectos Altamente Probables y Probables. TD=15%			
	2,8%	3,2%	3,6%
<b>2014</b>	108.8	<b>128.6</b>	134.0
<b>2015</b>	134.2	<b>143.0</b>	152.8
<b>2016</b>	147.5	<b>148.9</b>	158.7
<b>2017</b>	149.1	<b>163.5</b>	175.8
<b>2018</b>	164.0	<b>175.9</b>	193.0
<b>2019</b>	176.1	199.1	235.5
<b>2020</b>		238.7	

Proyectos Altamente Probables, Probables y Posibles. TD=15%			
	2,8%	3,2%	3,6%
<b>2014</b>		108.8	
<b>2015</b>		118.0	
<b>2016</b>		134.6	
<b>2017</b>	140.2	<b>143.0</b>	146.1
<b>2018</b>	143.1	<b>147.4</b>	147.5
<b>2019</b>	147.4	<b>147.5</b>	152.8
<b>2020</b>	147.5	<b>152.8</b>	163.9

↓ Proyectos posibles

- En horizontes más cercanos los proyectos en construcción cubren requerimientos de producción.
- En horizontes más lejanos proyectos “posibles” (en etapas más tempranas de desarrollo, de mayor incertidumbre) deberán añadirse a la cartera de proyectos.
- Estos resultados entregan un rango de posibilidades para el precio de equilibrio.
- Tendencia creciente es en alguna medida reflejo de menor información en horizontes más lejanos. Inclusión de proyectos con menor desarrollo (“posibles”) permite acotar el rango.

Parte 3

# **ANÁLISIS ECONOMÉTRICO**

# Análisis Econométrico

- El modelo de componentes no-observados (CNO) modela explícitamente la tendencia del precio como un puro camino aleatorio, en torno al cual el precio oscila. Vale decir, el (logaritmo del) precio es la suma de dos componentes: un componente permanente y un componente cíclico.
- Sólo observamos la suma de estos dos componentes. Del componente permanente sólo tenemos información aproximada a través del promedio de varios años.
- Justificación :
  - Entrada y salida de empresa productoras del mercado frente a “shocks” en la oferta y la demanda genera movimiento cíclico.
  - El punto de equilibrio en torno al cual el precio oscila es cambiante (difusión de nuevas tecnologías, agotamiento del recurso, incremento de las reservas) e impredecible.
- Alternativas:
  - La teoría económica ofrece un modelo de evolución del precio (modelo de Hotelling), que en su versión más simple proyecta una tendencia creciente (a la tasa de interés), y en versiones más realistas proyecta un nivel y una pendiente cambiantes (Pyndick).
  - Idea del agotamiento del recurso también ha sugerido una tendencia cuadrática (Slade).
  - Dentro del paradigma del modelo CNO existen alternativas (Beveridge Nelson) y otras estructuras del componente de tendencia (Gilbert).

# Largo Plazo: Tendencia y Ciclo

$$\log(y_t) = \tau_t + \phi_t$$

$$\tau_t = \tau_{t-1} + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t \sim N(0, \nu_\varepsilon)$$

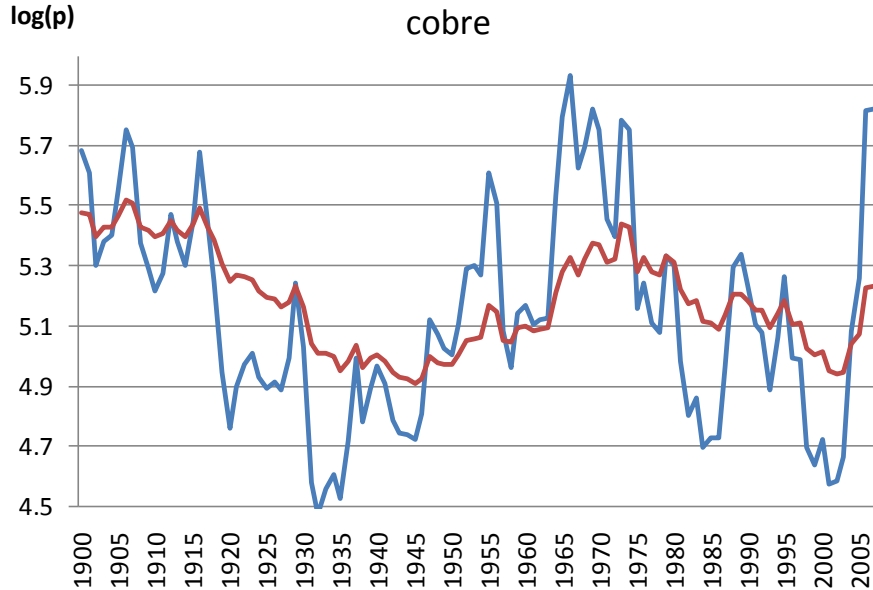
$$\phi_t = \beta_1 \phi_{t-1} + \beta_2 \phi_{t-2} + e_t \quad e_t \sim N(0, \nu_e)$$

$$\text{cov}(\varepsilon_t, e_t) = 0$$

- El componente cíclico es un AR(2).
- El componente de tendencia se comporta como un camino aleatorio.
- La covarianza entre las innovaciones del ciclo y de la tendencia son cero.
- Los errores se distribuyen normalmente.
- El modelo se estima mediante el filtro de Kalman:
  - Para inicializar los parámetros y estados se usan los resultados de un modelo AR con los primeros datos. La matriz de covarianza de los estados se inicializa con un valor arbitrariamente grande para reconocer la incertidumbre de esta aproximación inicial.

# Resultados

Componente de tendencia en el precio del cobre



	Coefficiente	Error Est	Estadístico - z	Prob.
Beta 1	1.015757	0.083011	12.23645	0.0000
Beta 2	-0.204838	0.094656	-2.164013	0.0305
Var tend	0.002488	0.003128	0.795335	0.4264
Var cic	0.027876	0.004179	6.669765	0.0000
	Estado Final	RECM	Estadístico - z	Prob.
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

- Usando precios hasta 2007 se obtiene un valor de la tendencia de 187 c/lb.
- Ante la sospecha que el modelo interpreta los amplios movimientos de precio del 2006 y 2007 exageradamente como movimientos de tendencia se corrieron dos versiones alternativas:
  - Se usaron datos hasta 2009 suponiendo que se mantienen los precios actuales. Efectivamente el modelo recoge esta nueva información y el PLP se ajusta a 176c/lb.
  - Se corrió un modelo alternativo con tendencia en el Precio de Equilibrio que arroja una tendencia decreciente y un resultado de aprox. 160 c/lb. Sin embargo el coeficiente de la tendencia no resulta significativo.

# Evaluación

<b>Raíz Error Cuadrático Medio</b>			
<b>c/lb.</b>	<b>15 años</b>	<b>20 años</b>	<b>25 años</b>
<b>N° Obs</b>	64	59	54
<b>Modelo CNO</b>	51.74	57.01	63.39
<b>Filtro HP</b>	58.01	64.00	70.16
<b>Lineal</b>	65.69	67.79	70.05
<b>Cuadrática</b>	78.07	86.30	95.08
<b>Promedio 10 años</b>	68.76	71.49	71.21

- La idea de extraer una tendencia de una serie ocurre también en relación al PIB potencial, donde suele usarse el filtro HP, por lo que se contrasta con este método.
- También se compara con una tendencia lineal, con una tendencia cuadrática y con el promedio de los últimos diez años.
- Sin embargo, como se está comparando con un promedio de largo plazo estos resultados deben mirarse con cautela: en rigor sólo se tienen pocos periodos para probar las proyecciones.

Parte 3

# **CONSIDERACIONES FINALES**

# Consideraciones Finales

- La metodología del precio incentivo es muy informativa respecto de los fundamentos del PLP.
- Requiere, sin embargo, de proyecciones de diferentes variables y la estimación de varios parámetros. En eso es importante el juicio del analista.
- Usando los parámetros y la información que más probables entrega un rango aproximado de 130 c/lb a 175 c/lb. Al examinar, además, la cartera de proyectos más inciertos el rango 145 c/lb 155 c/lb aparece como más probable.
  
- La metodología econométrica presentada es parsimoniosa, relativamente estándar y entrega niveles de incertidumbre.
- Esto no implica que no exista un grado de incertidumbre no considerado en la aproximación econométrica, que viene dado por la elección del modelo.
- La metodología econométrica arroja un resultado más alto (187 c/lb.), pero podría sobrestimar los movimientos del precio de equilibrio.
- Usando la información más reciente (fuertes caídas en el precio) el modelo entrega una proyección de 176 c/lb.
  
- La estimación del PLP importa un nivel de incertidumbre y, por lo tanto, su uso en la evaluación de proyectos requiere determinar el nivel aceptable de riesgo para una compañía.

# ¡Muchas Gracias!

Erik Heimlich M.  
Dirección de Estudios  
Comisión Chilena del Cobre