

COCHILCO

COMISIÓN CHILENA DEL COBRE
Dirección de Estudios y Políticas Públicas

**CON BUENOS YACIMIENTOS NO ALCANZA:
ANÁLISIS Y EVOLUCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD LABORAL EN
CHILE**

DE/14/09

Registro de Propiedad Intelectual

© N°185942

Índice

Resumen Ejecutivo	.....	3
Introducción	.....	5
Productividad laboral en Chile:		
Período 1992 – 2008	.....	10
Los Datos	.....	11
Metodología de estimación		
y Resultados	.....	13
Conclusiones	.....	39
Bibliografía	.....	42
Anexos	.....	44

Resumen Ejecutivo

La productividad laboral ha sido ampliamente estudiada y analizada. La evidencia señala que es clave para explicar las diferencias en crecimiento entre los países. En cuanto a la evolución de la productividad laboral en la minería del cobre, existen varios estudios para el caso de Estados Unidos y Chile, los que muestran que la adopción de nuevas tecnologías y la entrada en operación de nuevas minas explican los cambios de productividad observados en el sector.

Entre 1970 y 2008 la producción chilena de cobre se ha duplicado, en promedio, cada 12.3 años. Chile se ha consolidado como el principal productor de cobre refinado, con una industria minera de primer nivel y capaz de aportar con el 35% de la producción mundial. Sin embargo, en términos de productividad laboral, nuestro país aún exhibe espacios por mejorar. Actualmente se ubica por debajo de Canadá, Estados Unidos, Australia y Perú.

Este trabajo analiza las fuerzas que están detrás de los cambios en productividad laboral en la minería en Chile. Además, compara estos resultados con los de otros países productores de cobre. Se usan datos de panel para 7 países (Chile, Estados Unidos, Canadá, Perú, Australia, Rusia/Kazajstán y Zambia/R.D. Congo). El período seleccionado va entre 1992 y 2009.

Se concluye que los patrones que explican la productividad laboral difieren de acuerdo al tipo de proceso en cada mina, es decir, si éstas son subterráneas o a cielo abierto. Asimismo, y tal como se esperaba, se observa que tanto el nivel de producción como la ley del yacimiento afectan de forma positiva la productividad laboral, mientras que la razón estéril-mineral, para el caso de las minas a cielo abierto, tiene un efecto negativo. Se observa también que el efecto de las reservas muestra un resultado ambiguo. Esto se podría explicar por la fuerte relación que existe entre los precios, la productividad y la valorización de las reservas. Por último, los datos reflejan que los distintos países de la muestra son afectados de manera diferente por cada una de estas variables.

En estudios previos, la falta de datos no había permitido captar el efecto de los factores geológicos sobre la productividad laboral en minería. Un aporte de este trabajo está en la incorporación de algunos de estos factores formalmente en la estimación. Esto permite

tener una aproximación más precisa de las fuerzas específicas que están tras la evolución de la productividad laboral. Resulta interesante observar que, tanto para Chile como para el resto de los países, los factores geológicos muestran un aporte más bien menor en la explicación de ésta.

Asimismo, para el caso de Chile, se concluye que la introducción de la tecnología SX-EW tuvo un rol fundamental en el salto en productividad laboral observado en las faenas a rajo abierto. Para el caso de la producción subterránea, han sido una serie de factores los que se han conjugado para explicar su evolución. El período de incremento inicial (1992-1997) se explica principalmente por el rol que jugó Codelco con la incorporación de tecnología y la introducción de cambios en la gestión. Luego, entre 1997 y 2002, la baja observada en los precios del cobre le puso presión a las empresas, las que se vieron obligadas a introducir mejoras para seguir siendo competitivas y permanecer en el mercado.

Los hallazgos anteriores son importantes, sobre todo cuando se trata de tomar decisiones acerca de la manera de incrementar la productividad laboral de nuestra principal industria exportadora. Es la forma de hacer las cosas, la adopción de nuevas tecnologías y mejoras en la gestión lo que sustentaría mejoras en productividad laboral. Ni mayores niveles de producción, ni yacimientos de mejor ley son suficientes, en la actualidad, para impulsar un mejoramiento sostenido en ésta. Los esfuerzos, por lo tanto, debieran dirigirse principalmente a incrementar la innovación y la investigación y desarrollo al interior de la industria, en pos de una mayor competitividad a futuro.

1. Introducción

La productividad de factores ha sido ampliamente estudiada y analizada. La literatura empírica disponible señala que toda diferencia en crecimiento entre los países se debe básicamente a diferencias en productividad, y que cualquier cambio en el ritmo de crecimiento del PIB per cápita -por pequeño que sea-, se puede traducir en un importante mejoramiento en el nivel de vida y bienestar de la población si es que éste es mantenido a través del tiempo.¹ De lo anterior se desprende que, si bien la acumulación de factores es importante, ésta no es suficiente para que el crecimiento de la actividad económica sea sostenible.² Los datos para Chile muestran que alrededor del 75% de la diferencia entre el período de más alto crecimiento (1991 – 1995) y el de menor crecimiento del PIB (1971 – 1975), se explica precisamente por las diferencias en productividad existentes entre ambos períodos.³

La conclusión anterior también es válida para un sector específico al interior de una economía. Aunque el énfasis en el análisis sectorial ha estado puesto en determinar cuáles son los sectores que más contribuyen al incremento de la productividad. Vergara y Rivero (2005), utilizando datos para el período 1986-2001 estudian 6 sectores de la economía chilena.⁴ Los autores concluyen que, tanto en términos absolutos como relativos, los dos sectores que experimentaron los mayores avances en términos de productividad fueron el sector comercio y el financiero. Este resultado evidencia la importancia del uso de tecnologías de la información para que un sector se desarrolle, lo que concuerda con lo reportado por otros estudios internacionales (Jorgenson & Stiroh, 2000; Basu et. al, 2003; Fernald & Ramnath, 2004).

En cuanto a la evolución de la productividad laboral en la minería del cobre, existen varios estudios para el caso de Estados Unidos. Tilton & Landsberg (1997), tomando como referencia el período 1970-1995, analizan la caída y la posterior recuperación en la industria americana. Concluyen que el importante salto en productividad observado a mediados de los ochenta, fue impulsado principalmente por el desarrollo de nuevas

¹ Easterly & Levine, 2002; Beyer & Vergara, 2002.

² En efecto, según señalan Easterly & Levine (2002), para algunos países y en algunas coyunturas, la acumulación de factores es crítica como fuente de desarrollo.

³ Vergara & Rivero, 2005.

⁴ Industria; Electricidad, gas y agua; Construcción; Comercio, restaurantes y hoteles; Transporte y comunicaciones; y Servicio financieros.

tecnologías y otras innovaciones, donde la introducción de la tecnología SX-EW (extracción por solventes y electro obtención) tuvo un papel central. Aydin & Tilton (2000), analizan el efecto del descubrimiento de nuevos depósitos, el rol de la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías en los cambios de productividad. Ellos observan que, para el caso de la industria del cobre de Estados Unidos, en el período 1975-1995, el efecto de la entrada de nueva producción sobre la productividad laboral es nulo o marginal. En cambio, la innovación, desarrollo y difusión de nuevas tecnologías, son esenciales para obtener cambios significativos y sostenibles en el tiempo. Esto último es importante, pues – a juicio de los autores –, el hecho de que otros factores, en particular aquellos ligados al desarrollo de nuevas tecnologías, sean tan o más importantes que los cambios en dotación de mineral para la determinación de las ventajas comparativas, tiene tres importantes implicancias. Primero, es probable que el patrón geográfico de reservas y gastos en exploración actual cambie en el futuro. Segundo, las compañías y los países que deseen mantener su posición competitiva en la industria minera mundial, además de destinar recursos a la exploración y desarrollo de nuevos yacimientos, deben necesariamente poner énfasis en la generación y uso de nuevas tecnologías. Tercero, si la tendencia favorable y positiva en el aumento de la productividad y la consecuente caída de los costos, es perpetuada por la innovación e implementación de nuevas tecnologías, ésta debería ser sostenible en el tiempo.

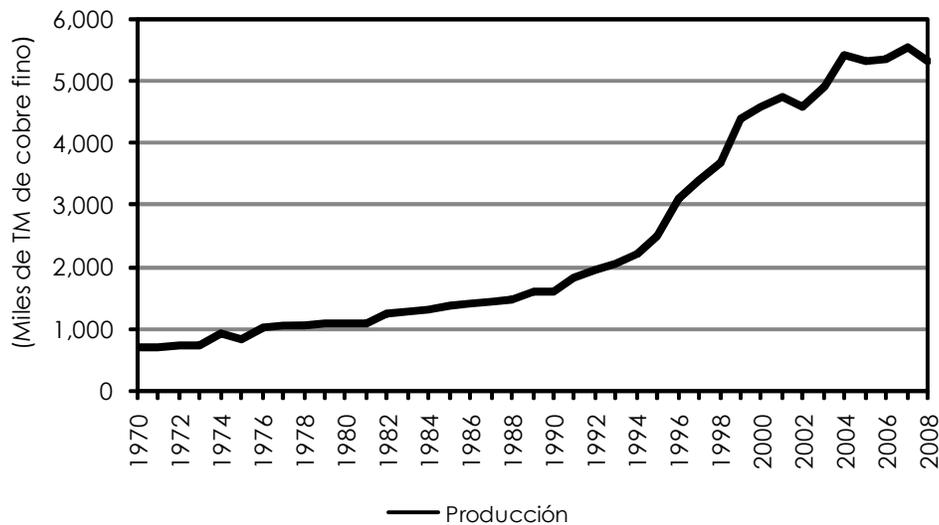
Por su parte, Tilton (2001) analiza la relación entre la productividad laboral, los costos y la sobrevivencia de la mina durante una recesión. Concluye que las minas que entran a una recesión con una productividad laboral relativamente alta, pero que además hacen esfuerzos para aumentarla durante el período de contracción, tienen mayores probabilidades de sobrevivir que aquellas que no lo hacen. Es decir, a juicio del autor, el nivel de productividad al inicio de la recesión, es menos relevante para la sobrevivencia posterior que la habilidad de la mina para aumentar la productividad y disminuir los costos durante la recesión. Un factor importante que permite entender por qué algunas minas fueron exitosas en aumentar la productividad, tiene que ver con el tamaño de las reservas de la mina. El autor señala que aquellas minas con niveles altos de reservas capaces de asegurar varios años más de operación, tienen fuertes incentivos para invertir en equipamiento y capital que aquellas minas con niveles pobres de reservas.

Para el caso de Chile, García, Knights & Tilton (2001), analizan las fuentes de crecimiento de la productividad laboral en la minería del cobre. Los autores encuentran que más del

50% de la producción al año 2000 proviene de nuevos yacimientos. Esta conclusión sugiere que a diferencia de la situación de Estados Unidos, el hallazgo de nuevos y mejores depósitos es más relevante que el impacto de la innovación y los cambios tecnológicos, aunque estos últimos no son menos relevantes, ya que tal como señalan los autores, también han contribuido de manera significativa al incremento de la productividad laboral en Chile.

En la Figura N°1 se muestra la evolución de la producción chilena de cobre entre 1970 y 2008. En este período, la tasa de crecimiento promedio de la producción ha sido de 5.8%, lo que ha permitido que nuestro país haya sido capaz de duplicar su producción, en promedio, cada 12.3 años⁵.

FIGURA N°1: EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN CHILENA DE COBRE
Período 1987-2008. En miles de TM de fino.



Fuente : Elaboración Cochilco.

Desde inicios de los 70 y hasta fines de la década de los 80, el aumento en la producción de Chile fue relativamente parejo y estable, operaban sólo 7 faenas⁶. Con todo, el nivel de producción se duplicó por primera vez en 1986. El fuerte aumento en producción llevado a cabo por Codelco luego del proceso de nacionalización fue fundamental en

⁵ Si se define $X(t)$ como la producción de cobre en el año t , tenemos que $X(t)=(1.058)^t X(0)=2^t X(0)$. Resolviendo y aplicando logaritmos, llegamos a $t \cdot \ln(1.058)=\ln(2)$, donde $t=12.35$.

⁶ Las 4 faenas de Codelco, además de Mantos Blancos, Disputada y Enami. Ésta última agrupa a todos los pequeños productores.

este proceso. La década de los 90 se caracterizó por la mayor inversión extranjera en el sector, lo que se plasmó en la entrada en operación de 10 nuevas faenas. El aumento en el nivel de producción en este período fue explosivo, con un ritmo de crecimiento promedio de 11% anual, más del doble que los dos decenios anteriores (Tabla N°1), lo que facilitó que en 1996 nuestro país duplicara - por segunda vez -, su quantum de producción. La conjugación de tres factores fue lo que explicaría el masivo ingreso de capitales a la minería en el período: el boom de precios 1986-1989, que incrementó la rentabilidad de los proyectos descubiertos o re-explorados durante los 80; la incorporación de nuevos estándares de productividad y costos accesibles con las nuevas tecnologías y; la estabilidad y calidad de las instituciones chilenas post 1990.⁷

TABLA N°1: VARIACIÓN DE LA PRODUCCIÓN
 Datos para Chile. Período 1970-2008.
 Promedio % por período.

Período	Tasa de Cambio
1970 - 1979	5.3
1980 - 1989	4.3
1990 - 1999	10.8
2000 - 2008	2.3

Fuente : Elaboración Cochilco.

En 1998 se observa un punto de inflexión, si bien el crecimiento sigue siendo positivo, éste es menos marcado. Aún así, el ritmo mantenido en los 10 años siguientes permitió que en 2007 nuestro país duplicara nuevamente el nivel de producción. Como resultado, Chile se ha consolidado como el principal productor de cobre refinado, con una industria minera de primer nivel y capaz de aportar con el 35% de la producción mundial.

En términos de productividad laboral,⁸ sin embargo, al observar la situación del año 2008, se desprende que nuestro país aún exhibe importantes espacios por mejorar. En efecto, de acuerdo a lo que se desprende de la Tabla N°2, se observa que Chile se ubica por debajo de Canadá, Estados Unidos, Australia y Perú. Los tres primeros países, muestran

⁷ Moguillansky (1998).

⁸ Medido como producción de cobre fino contenido por hora hombre total (incluye mano de obra directa e indirecta) para operaciones a cielo abierto. Datos para 2008.

niveles de productividad que superan por más de un 40% a la chilena, incluso, Canadá exhibe una productividad superior en un 63%. De esta forma, resulta interesante preguntarse por qué Chile, siendo el principal productor, con varios yacimientos de clase mundial, se ubica tan abajo en este ranking de productividad laboral. ¿Qué hay detrás de estas cifras? ¿Qué explica la diferencia en el cambio de la productividad laboral con otros países? ¿Cuál ha sido la evolución en el tiempo? ¿Qué lecciones se pueden obtener para Chile?

Estas preguntas son de especial interés y son las que se abordarán en este trabajo. Esto es importante, porque a partir del análisis de los determinantes de la productividad laboral se podrán distinguir fortalezas y debilidades de la industria minera nacional, pero más importante aún, se podrán identificar algunas directrices para el diseño de estrategias de mejora.

TABLA N°2: PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD LABORAL
Datos para 2008. Sistema de producción open pit.

País	Producción de cobre (Miles de TM)	Participación Mundial (%)	Productividad (1) (Q/HH)	Indice
Canadá	607.0	3.9	84.33	163.1
Australia	885.0	5.7	79.81	154.4
USA	1,339.7	8.6	72.33	139.9
Perú	1,267.9	8.1	53.87	104.2
Chile	5,330.3	34.2	51.70	100.0
México	246.9	1.6	49.34	95.4
Zambia	595.0	3.8	38.40	74.3
Indonesia	650.5	4.2	22.40	43.3
Kazajstán	419.9	2.7	16.98	32.8
Rusia	784.8	5.0	3.16	6.1

Fuente: Elaboración Cochilco a base de datos Brook Hunt.

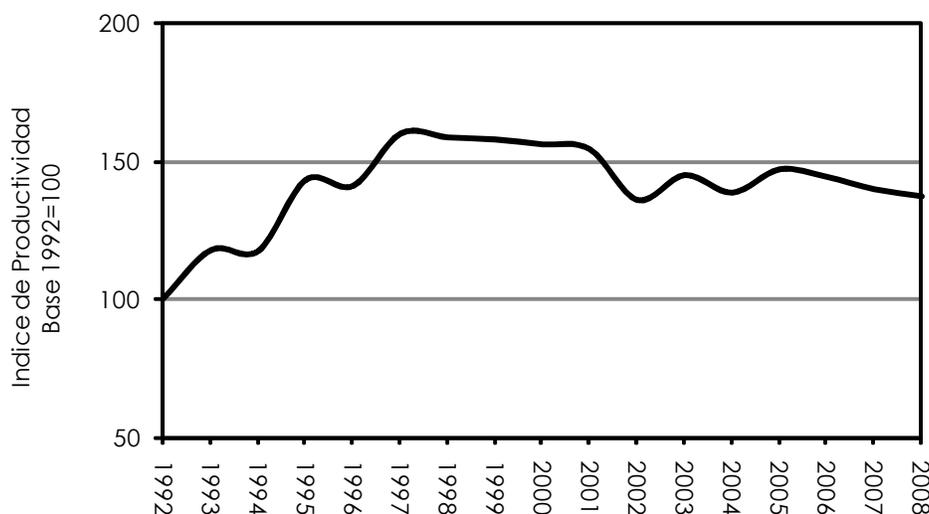
Nota: (1) Ponderado total según material tratado por faena.

El artículo está organizado en 5 secciones. Luego de esta introducción, en la segunda parte se analiza la evolución de la productividad laboral de la industria minera nacional entre 1992 y 2008. La tercera sección, describe los datos y las variables usadas en el estudio; la cuarta parte presenta la metodología de estimación, el análisis empírico y los resultados. Finalmente, la quinta sección se reserva para las conclusiones de este trabajo.

2. Productividad laboral en Chile: Período 1992 - 2008

En la Figura N°2 se observa que entre 1992 y 1997 la productividad laboral, medida en términos de toneladas de cobre fino contenido por hora-hombre total, creció fuertemente y en línea con lo observado en la producción. Sin embargo, a partir del año 1997, ésta comenzó un paulatino descenso, el que ha sido moderado, pero sistemático, a partir de ese año.

FIGURA N°2: EVOLUCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD LABORAL
Datos para Chile. Período 1992-2008.
Base 1992 = 100.



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de datos Brook Hunt.

De acuerdo a los resultados obtenidos por García et al (2001), el fuerte incremento de la productividad laboral en la primera parte del período de estudio, tiene dos fuentes principales. El primer factor está dado por la apertura de nuevas operaciones, las que mejoraron las condiciones naturales de la cartera de yacimientos en explotación en el país. Estos nuevos proyectos presentaron mejores leyes, menor razón estéril-mineral y menores ciclos de transporte, además de contar con los equipos y tecnologías más eficientes disponibles en el mercado. Todos estos elementos permitieron que dichas operaciones presentaran niveles de productividad por sobre las minas que ya se encontraban en operación en el período previo al año 1992, lo que incrementó la productividad laboral de la industria como un todo. A juicio de estos autores, entre 1990 y 1997 alrededor del 70% del incremento en la productividad laboral en la minería del cobre

en Chile estaría explicado por este factor. El segundo elemento en juego, está asociado al importante esfuerzo realizado por las operaciones antiguas para incrementar su eficiencia y poder permanecer competitivas. La conjugación de ambos factores facilitó un incremento de más de 60% en los primeros cinco años del período analizado. Sin embargo, entre 1998 y 2008 la productividad laboral de la industria ha experimentado una caída de más de 10%, la que tendría su explicación en factores de distinta índole. Un elemento detrás de esta caída sería la reducción de la cartera de proyectos, lo que habría generado que un menor número de nuevos yacimientos hayan entrado en operación a partir del año 2000 (ver Anexo N°1), y que además presenten peores condiciones naturales que los del período anterior. Otro factor importante detrás de esta caída, está relacionado al punto anterior, y se refiere a que ante la escasez de nuevos proyectos, las faenas que entraron en operación en el período previo a 1997 (incluyendo a aquellas previas a 1992), habrían seguido un proceso de envejecimiento superior al típico, con lo que sus condiciones naturales, los equipos y la tecnología utilizada en sus procesos habrían llevado a una caída en sus niveles de productividad. De esta forma, el factor que permitió el gran incremento de la productividad laboral en la primera parte de la década de los noventa, daba señales de estar agotado.

A partir de 2004, el boom del precio del cobre hizo que las firmas del sector enfocaran sus esfuerzos en maximizar los ingresos por venta, como una forma de aprovechar la coyuntura, pero han sacrificado eficiencia. El resultado ha sido una caída en la productividad laboral, la que se ha mantenido hasta 2008.

3. Los Datos

Para el análisis de la productividad laboral en el sector de la minería del cobre, se utilizan datos de panel para el período 1992-2009. Las distintas series las hemos clasificado en 7 grupos de países: Australia, Canadá, Estados Unidos, Chile, Perú, Congo-Zambia y Rusia-Kazajstán; los que hemos categorizado en open pit (Op) o underground (Ug), de acuerdo a la tecnología de producción utilizada. De esta forma, el análisis lo hemos organizado en 14 subgrupos, los que se analizan de forma separada. Considerar estos 9 países, supone incluir faenas que entre 1992 y 2008, en conjunto, han aportado alrededor del 75% de la producción mundial de cobre de mina (Ver Anexo N°2).

Las series de producción, mano de obra, condiciones geológicas y otras características para cada mina se obtienen desde la base de datos Brook Hunt. La producción de cobre es medida en toneladas de cobre fino de cada año; mientras que el de la mano de obra, en términos de horas-hombre anuales, sin hacer diferencia entre los distintos tipos ni grados de calificación de mano de obra.

En total son 2.884 observaciones con frecuencia anual, para 300 faenas individuales. La Tabla N°3 resume la composición de la muestra en términos de los 14 subgrupos. También se entrega la estadística descriptiva de éstos, asociados a niveles de producción.

TABLA N°3: COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA Y DE LOS GRUPOS
Producción minera de cobre refinado. Datos en miles de toneladas. Período 1992 - 2009.

País	Proceso	Abrev.	Obs.	Nº de Minas	Obs. por Mina	Media	p50	Desv. St.
Chile	Underground	CHIL-Ug	196	19	11	60,403	17,606	103,242
	Open Pit	CHIL-Op	489	40	12	121,507	53,991	178,707
Estados Unidos	Underground	USA-Ug	85	13	7	14,957	5,206	26,182
	Open Pit	USA-Op	302	38	8	79,037	56,947	84,831
Perú	Underground	PER-Ug	293	26	11	2,974	1,042	5,611
	Open Pit	PER-Op	122	14	9	90,735	80,341	86,326
Australia	Underground	AUS-Ug	274	27	10	33,333	15,739	51,064
	Open Pit	AUS-Op	180	21	9	15,323	7,161	25,478
Canadá	Underground	CAN-Ug	298	31	10	19,779	8,974	26,646
	Open Pit	CAN-Op	162	18	9	29,825	12,957	47,337
Rusia - Kasajstán	Underground	RSKZ-Ug	101	10	10	68,829	41,962	84,499
	Open Pit	RSKZ-Op	74	9	8	37,793	26,830	40,018
Zambia - Congo	Underground	ZBRDC-Ug	185	16	12	24,575	9,446	45,217
	Open Pit	ZBRDC-Op	123	18	7	29,581	13,407	40,801
Total			2,884	300	9			

Fuente : Elaboración Cochilco a base de datos Brook Hunt.

La serie de precio del cobre se obtiene de la base de datos de Cochilco, la que se deflacta usando el índice de precios al por mayor para los commodities.⁹ Para los datos del último año, en el caso de ambas series, se trabaja con el promedio a julio de 2009. En cuanto a la serie de salarios, ésta se extrae desde la base de datos de Brook Hunt, la que se pondera según los volúmenes de producción y se expresa en términos de valor hora-hombre promedio para cada país. Al igual que las serie de precios, la serie de salarios también se deflacta por el IPM all commodities de Estados Unidos. Una vez que ambas series se han expresado en términos reales, se construyen los respectivos índices de precio y remuneraciones, con base 1992=100.

Todas las series se trabajan en logaritmos, excepto la serie de la ley de extracción (Cu Grade) y la razón estéril-mineral (SRTot) de cada faena.

4. Metodología de Estimación y Resultados

La metodología utilizada para la estimación es el análisis de datos de panel. El panel no es balanceado, pues no todas las faenas entran en operación el año 1992, además no todas se mantienen en funcionamiento durante todo el período de análisis. Con todo, el análisis de datos de panel, tiene la ventaja que la dimensión temporal enriquece la naturaleza de los datos y permite controlar por la heterogeneidad no observada.

Por definición, la productividad laboral promedio se puede medir como la razón entre la producción y la cantidad de trabajo contratado. Si denotamos como Q_{it} el nivel de producción obtenido por la faena i en el período t y L_{it} la cantidad de trabajo total - en términos de horas hombre -, contratado por la faena i en el período t .¹⁰ El modelo básico para evaluar la productividad laboral (Q_{it}/L_{it}) en la industria de la minería del cobre, vendría dado por:

$$\ln\left(\frac{Q_{it}}{L_{it}}\right) = \alpha + \beta X'_{it} + \tau_t + \mu_{it} \quad (1)$$

⁹ IPM "all commodities" para Estados Unidos, la que se extrae de la Base de datos de la U.S. Bureau of Labor Statistics.

¹⁰ La cifra incluye trabajadores directos y subcontratistas.

donde, $i= 1, \dots, N$ minas; $t= T_i^{\text{open}}, \dots, T_i^{\text{Close}}$ denota los años que la mina i -ésima está en operación. La variable τ_t es un set de variables dummies que reflejan variación en el tiempo, α es la constante y β son los parámetros a estimar, mientras que μ_{it} , corresponde al error del modelo. Por su parte, X_{it} , será tratada una función $g(*)$ que relacionará cambios en la escala de producción y el efecto de algunas variables geológicas propias de cada mina con cambios de productividad. Es decir,

$$X_{it} = g\{F(\ln Q_{it}), Z\} \quad (2)$$

donde $F(\ln Q_{it})$ es una función desconocida, la que será tratada no paramétricamente a través de una función polinomial de grado "d" y Z representa un set de variables geológicas tales como ley de extracción (Cugrade), razón estéril-mineral (SRTot) y la cantidad de reservas (Lreserv), las que varían entre faenas y en el tiempo. De esta forma, el modelo a estimar vendrá dado por la siguiente relación:

$$\ln\left(\frac{Q_{it}}{L_{it}}\right) = \alpha + \beta_{1i}F(\ln Q_{it}) + \beta_{2i}Z'_{it} + \tau_t + \mu_{it} \quad (3)$$

Si asumimos que el error μ_{it} es independiente de las variables explicativas, entonces la ecuación (3) puede ser estimada simplemente por mínimos cuadrados (OLS). Si bien, esta estimación es poderosa pues permite captar los efectos relevantes de las variables explicativas sobre nuestra variable dependiente, resulta insuficiente para captar la heterogeneidad no observada que estaría influyendo sobre la variable de interés. En este caso, la estimación por OLS entregaría estimadores sesgados, como resultado de la omisión de variables relevantes. Una de las principales ventajas de los datos de panel, es que la dimensión temporal, enriquece la naturaleza de los datos y es posible, controlar por algunas de estas variables aún cuando no las observemos. Para ello, asumimos que el error viene dado por la siguiente expresión:

$$\mu_{it} = \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

donde δ_i es un efecto específico a cada firma que refleja esta heterogeneidad no observada y ε_{it} , es ruido blanco. El componente no observado, se refiere a aquellas características que son idénticas en todas las observaciones de la misma faena y que no es posible medir. Ejemplos de esto pueden ser, la capacidad de gestión, el estilo de

administración, la oportunidad en la toma de decisiones, etc. Así, nuestro análisis estará basado en la siguiente especificación:

$$\ln\left(\frac{Q_{it}}{L_{it}}\right) = \alpha + \delta_i + \beta_{1i}F(\ln Q_{it}) + \beta_{2i}Z'_{it} + \tau_t + \varepsilon_t \quad (5)$$

Siguiendo a Ellerman et al. (1998) y a Stoker et al. (2005), el efecto temporal, τ_t , y el efecto individual, δ_i , serán tratados como efectos fijos en la estimación. El análisis será hecho para cada grupo, por lo que N , τ_t , $F(\ln Q_{it})$ y Z_{it} , varían para cada conjunto de minas.

Para que el estimador intra-grupos¹¹ de datos de panel sea consistente con N datos de extensión y ancho T , tanto Z_{it} como Q_{it} tienen que ser asumidos estrictamente exógenos o, independientes de los errores ε_{it} , para todos los t ¹. Sin embargo, en minería, las empresas del sector, por lo general, no determinan el nivel de producción que les permite maximizar las utilidades, sino que producen lo máximo en función de su capacidad instalada, de modo que optimicen la cantidad de recursos mineros. Por lo que suponer exogeneidad estricta es una restricción en extremo exigente. La implicancia de esto, es que el estimador del parámetro "intra-grupos" podría tener un sesgo de orden $1/T$. De aquí se desprende también que mientras mayor sea T , menor será el sesgo. En este caso, dado que la cantidad de datos para la mayoría de los grupos seleccionados de nuestro panel es relativamente amplia y,¹² de acuerdo a las propiedades de la ley de los grandes números, los parámetros obtenidos serían consistentes o en su defecto, el sesgo sería bastante menor, no afectando la calidad de los resultados.

El efecto temporal, τ_t , captura la variación a nivel de grupo (group-wide) en la productividad de la mina en el período t . Tal variación podría provenir de cambios en la forma de hacer minería (i.e. tecnología SX-EW), cambios en las regulaciones que es común para toda la industria, cambios en el precio del cobre, de los costos y en otros insumos, etc., pero que tienen la particularidad que afectan a la industria de forma transversal.

¹¹ Estimador "within" o de desviaciones de las medias de los grupos.

¹² Ver Tabla N°3.

El efecto fijo específico a cada mina, α_i , recoge factores geológicos distintos a los incluidos en Z ("otros factores geológicos"), además de otras características específicas del capital en la faena i -ésima. Dado el tipo de tecnología (open pit o underground), es esperable que una mina nueva que entra en operación utilice capital (i.e. maquinaria, equipos, sistemas de transporte, palas, cintas transportadores, etc.) de última generación o lo que es lo mismo, el mejor capital disponible. De esta forma, el capital representará el estado actual de la tecnología disponible, aún cuando éste puede evolucionar a través del tiempo en que la mina está en operación, el efecto fijo α_i captará la tecnología incorporada y los "otros factores geológicos" específicos de una "nueva mina".¹³

4.1 Metodología

La estimación econométrica del panel es bastante estándar, salvo para la función desconocida $F(\ln Q_{it})$. Pero, para dar un cierto grado de flexibilidad a ésta, será tratada como una función polinomial en el log de la producción. Esta modelación nos permitirá determinar un patrón para la relación entre la productividad laboral y la producción en el período de referencia. El orden (d) del polinomio será obtenido para cada grupo de acuerdo a la significancia estadística de cada parámetro. Los distintos grupos se reunirán en torno a funciones polinómicas de grado $d = 3$ como orden máximo, con $F(\ln Q_{it})$ definido como:

$$F(\ln Q_{it}) = \beta_1 \ln Q_{it} + \beta_2 (\ln Q_{it})^2 + \beta_3 (\ln Q_{it})^3 \quad (6)$$

Específicamente, para un grupo se ha seleccionado una función polinomial cúbica, para cuatro grupos, una función polinomial cuadrática es la indicada, es decir, $\beta_3=0$; mientras que para 9 grupos se ha seleccionado una función lineal, vale decir, $\beta_2=\beta_3=0$. En el Anexo N°3 se entregan las salidas de las regresiones, sus respectivos valores t y sus coeficientes de determinación. Se desprende que los patrones que explican la evolución de la productividad laboral difieren de acuerdo al tipo de proceso de producción de cada faena, es decir, si estas son subterráneas o a rajo abierto. Para el caso de las faenas subterráneas, se observa que el nivel de producción y la ley de extracción son en general

¹³ Bajo el supuesto que esta tecnología o capital, o al menos una parte, se mantiene constante a lo largo del tiempo.

significativas y la afectan positivamente. Por su parte, el efecto que tienen las reservas sobre la productividad laboral no es relevante, salvo para el caso de Chile. Para las faenas a rajo abierto, el nivel de producción, la ley de extracción y la razón estéril-mineral si impactan en forma significativa la evolución de la productividad laboral, mientras que las reservas, en general, no resultan importantes, es más, su resultado es bastante ambiguo. Una posible explicación para este comportamiento, podría venir por la fuerte relación que existe entre la valorización de las reservas y la evolución del precio del cobre. En la Tabla N°4 se entrega un resumen con los resultados anteriores.

TABLA N°4: RESUMEN DE LA SIGNIFICANCIA DE LAS VARIABLES

Variable	Cielo Abierto	Subterránea
Escala	+	+
Ley de Mineral	+	+
Reservas	?	?
Razón estéril/mineral	-	n.a.

Fuente : Elaboración Cochilco a base de resultados de la estimación.

Nota : n.a. No Aplica.

Tal como se señaló anteriormente, en la estimación de datos de panel, el efecto temporal, τ_t , captura el impacto de todas aquellas variables que varían en el tiempo pero que afectan de manera transversal a todas las minas del sector. Para examinar la relación existente entre este efecto y los precios ajustamos la siguiente regresión para cada subgrupo:

$$\begin{aligned} \tilde{\tau}_t &= \text{"Efecto precio"} + \text{"Otros efectos"} \\ \tilde{\tau}_t &= \tilde{\phi} + \tilde{\phi}_p \ln p_t + \tilde{\phi}_w \ln w_t + \tilde{\omega}_t \end{aligned} \quad (7)$$

donde $\tilde{\tau}_t$ es el efecto temporal estimado, p_t es el índice del precio real del cobre¹⁴, w_t es el índice de salario real. Por último, $\tilde{\phi}$, $\tilde{\phi}_p$ y $\tilde{\phi}_w$ muestran el impacto de cambios en los precios y salarios sobre los nivel de productividad común son los parámetros estimados por OLS, mientras que $\tilde{\omega}_t$ es el residuo (ruido blanco).

¹⁴ Base 2008 = 100.

TABLA N°5: RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN PARA EL EFECTO TIEMPO

Grupo	Coeficientes OLS			N° Obs	R ² Adj
	constante (ϕ)	$\ln p_t$	$\ln w_t$		
Chile-Ug	0.05023 (0.16)	-0.26822 (-15.37)	0.29146 (4.13)	342	0.408
Chile-Op	0.76605 (3.07)	-0.14492 (-10.29)	0.05251 (0.92)	720	0.134
USA-Ug	-2.78637 (-1.29)	0.10351 (2.45)	0.45397 (1.03)	234	0.017
USA-Op	2.91476 (2.88)	-0.28800 (-14.5)	-0.32633 (-1.57)	684	0.275
PER-Ug	1.79512 (13.36)	-0.20033 (-16.29)	-0.16743 (-6.51)	468	0.424
PER-OP	-8.14339 (-33.62)	-0.01119 (-0.51)	1.73857 (37.49)	252	0.850
AUS-Ug	0.27859 (1.86)	-0.28539 (-14.19)	0.27028 (5.78)	486	0.404
AUS-Op	0.19257 (0.40)	-0.24948 (-3.81)	0.29570 (1.94)	378	0.046
CAN-Ug	-0.44258 (-3.85)	-0.12321 (-13.42)	0.23232 (8.44)	540	0.252
CAN-Op	-2.21143 (-10.15)	-0.33388 (-19.17)	0.81929 (15.68)	342	0.547
RSKZ-Ug	0.06178 (2.11)	-0.04536 (-5.92)	0.03229 (3.22)	180	0.181
RSKZ-Op	0.69765 (8.42)	-0.04423 (-2.04)	-0.10533 (-3.71)	162	0.338
ZBRDC-Ug	-2.63801 (-24.)	0.01497 (0.75)	0.57787 (21.64)	288	0.712
ZBRDC-Op	-2.79349 (-14.96)	-0.57329 (-16.98)	1.19570 (26.36)	324	0.684

Nota: Valores (t) entre paréntesis

Fuente: Elaboración Cochilco a base de resultados de la regresión.

De la ecuación (7), hay algunas características que es importante resaltar. En efecto, sin incorporar ningún supuesto adicional al modelo básico de panel descrito en la ecuación (5), es posible identificar el efecto de los precios y salarios sobre la productividad. Además, dado que nuestro modelo es empírico y descriptivo, no queremos sesgar la estimación de nuestro modelo de panel básico (ecuación 5) a través de una especificación inadecuada del efecto temporal. Por lo tanto, hemos adoptado una estimación en dos etapas, primero estimamos la ecuación (5), asumiendo efectos fijos específicos para las minas y para el efecto temporal. La segunda etapa consiste en estimar, usando OLS, la

ecuación (7) que usa la serie de efectos temporales estimados, $\tilde{\tau}_t$, como variable dependiente y las series de precios y salarios como variables independientes.

En la Tabla N°5 se entregan los resultados de la regresión. Se observa que los coeficientes del "efecto precio" son mayoritariamente negativos (excepto 2 grupos), tal como se esperaba; mientras que el "efecto salario" es típicamente positivo. Este resultado es consistente con la noción de que la presencia de altos precios reales del cobre permite que aquellas minas menos eficientes sean rentables y por lo tanto permanezcan en operación. Algo similar ocurre cuando los salarios reales son más bajos, pues en este caso, la industria también permite la existencia de firmas menos eficientes.

4.2 Descomposición del cambio en productividad

La estimación econométrica del modelo (5), para el grupo de países seleccionados, proporciona una buena descripción empírica de la productividad y constituye una primera aproximación de las variables que la afectan. También es útil en detectar algunas diferencias entre países. Sin embargo, los parámetros estimados no son de gran ayuda para comprender las fuerzas predominantes en la productividad laboral en cada uno de los grupos, en particular en la industria chilena del cobre. Tampoco nos permite comprender cómo éstas han ido evolucionando a través del tiempo.

Siguiendo a Ellerman et al. (1998) y Soker et al. (2005), implementamos un modelo en base a índices, los que conceptualmente están en línea con la estructura de los datos de panel. Esto permitirá obtener una clara descripción de las fuerzas que afectan el crecimiento de la productividad laboral. Además, permitirá captar diferencias entre los países y obtener algunas lecciones para la industria chilena del cobre.

Para cada grupo, la productividad laboral total viene expresada por la siguiente expresión:¹⁵

$$\frac{\sum_i Q_{it}}{\sum_i L_{it}} = \frac{\sum_i L_{it} \exp \left[\ln \frac{Q_{it}}{L_{it}} \right]}{\sum_i L_{it}} = \frac{\sum_i L_{it} \exp \left[\tilde{\alpha} + \tilde{\delta}_i + \tilde{\beta}_1 F(\ln Q_{it}) + \tilde{\beta}_j Z'_{it} + \tilde{\tau}_t + \tilde{\epsilon}_{it} \right]}{\sum_i L_{it}}$$

¹⁵ Ver Stoker et al. (2005), pp. 142.

$$= \frac{\sum_i L_{it} \exp [\tilde{\alpha} + \tilde{\delta}_i + \tilde{\beta}_i F(\ln Q_{it}) + \tilde{\beta}_j Z'_{it} + \tilde{\epsilon}_{it}]}{\sum_i L_{it}} + \exp(\tilde{\tau}_t) \quad (8)$$

donde “~” denota los parámetros obtenidos en la estimación del panel. La productividad laboral total se ha descompuesto en dos factores: uno para los factores de productividad específicos a cada mina y otro para la tendencia de variación temporal común.

El primer factor de la ecuación (8), muestra los elementos que varían entre las minas, tales como variables geológicas (ley de extracción, razón estéril/mineral y reservas), gestión de la compañía, eficiencias asociadas con la escala de producción. Tal como señalan Stoker et al. (2005), este componente no se puede descomponer exactamente, por lo que se aproxima de una manera consistente con $\tilde{\delta}_i, \tilde{\beta}_i, \ln Q_{it}, Z_{it}$ y $\tilde{\epsilon}_{it}$ i.i.d entre las minas y ponderado por las horas hombre. De esta forma, hemos considerado la siguiente expresión:

$$\frac{\sum_i L_{it} \exp [\tilde{\alpha} + \tilde{\delta}_i + \tilde{\beta}_i F(\ln Q_{it}) + \tilde{\beta}_j Z'_{it} + \tilde{\epsilon}_{it}]}{\sum_i L_{it}} \cong EF_t EE_t EG_t ER_t \quad (9)$$

donde:

$$EF_t = \frac{\sum_i L_{it} \exp[\tilde{\delta}_i]}{\sum_i L_{it}} \quad (10)$$

define el Índice de los Efectos Fijos.

$$EE_t = \frac{\sum_i L_{it} \exp[\tilde{\beta}_i F(\ln Q_{it})]}{\sum_i L_{it}} \quad (11)$$

define el Índice del Efecto Escala.

$$EG_t = \frac{\sum_i L_{it} \exp[\tilde{\beta}_j Z'_{it}]}{\sum_i L_{it}} \quad (12)$$

define el Índice de los Efectos Geológicos y,

$$ER_t = \frac{\sum_i L_{it} \exp[\tilde{\epsilon}_{it}]}{\sum_i L_{it}} \quad (13)$$

define el Índice de los efectos residuales.

El segundo componente de la ecuación (8), $\tilde{\tau}_t$, captura el impacto de todas aquellas variables que varían a través del tiempo, pero que afectan de igual forma (son transversales) a todas las minas en un determinado período. Este componente recoge aquellos cambios en las regulaciones, mejoramientos tecnológicos, incrementos del precio del cobre, variaciones de los salarios y otros insumos en la producción de cobre.

Siguiendo a Ellerman et al. (1998) y Stoker et al. (2005), y como una forma de examinar la relación entre la productividad y los precios, hemos estructurado el efecto temporal como:

$$ET_t = \exp(\tilde{\lambda} + \tilde{\gamma}_p \ln p_t + \tilde{\gamma}_w \ln w_t) \exp(\tilde{\eta}_t) \quad (14)$$

$$ET_t = EP_t * RT_t \quad (14')$$

donde,

$$EP_t = \exp(\tilde{\lambda} + \tilde{\gamma}_p \ln p_t + \tilde{\gamma}_w \ln w_t) \quad (15)$$

define el Índice del Efecto Precio y,

$$RT_t = \exp(\tilde{\eta}_t) \quad (16)$$

define el Índice del Residuo Temporal.

El set de índices anteriores, constituye un método empírico que permite ponderar la importancia de los diferentes factores: fijos, escala, geológicos, precios, residuos, etc., en la productividad laboral y cómo han evolucionado a través del tiempo. Para evaluar la capacidad de esta aproximación, definimos el índice Productividad Laboral Estimado como:

$$\text{Productividad [E]}_t = EF_t EE_t EG_t ER_t ET_t = EF_t EE_t EG_t ER_t EP_t RT_t \quad (17)$$

La diferencia entre el valor observado (verdadero) en la productividad laboral y el valor estimado (ecuación 17), constituye el error de aproximación en (8).

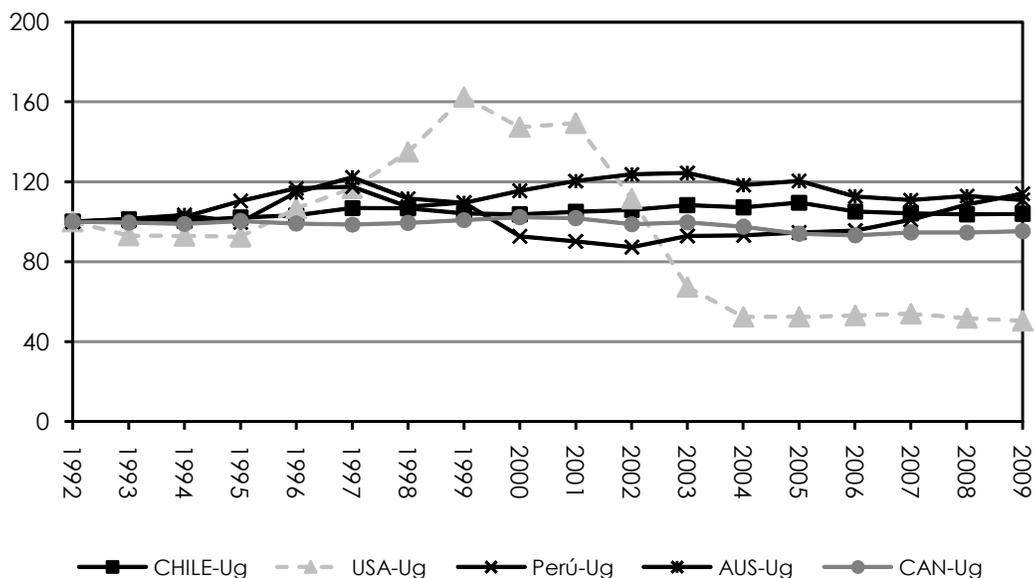
4.3 Análisis de las fuentes del cambio en la productividad

Si bien, las regresiones se hacen para los 14 subgrupos antes definidos, en el análisis desagregado se ha obviado Rusia/Kazajstán y Zambia/R.D. Congo. Para el primer caso, sus datos sólo están disponibles a partir de 1996, por lo que de considerarlo se estarían perdiendo 4 años de análisis, que en algunos casos de países resultan fundamentales. Para el caso del grupo Zambia/R.D. Congo, la calidad de la información es bastante débil, principalmente en los primeros años de la muestra, lo que introduce un exceso de inestabilidad y variabilidad, lo que podría sesgar el análisis. Además de ser los subgrupos que menos pesan en términos de producción.

Efectos Fijos

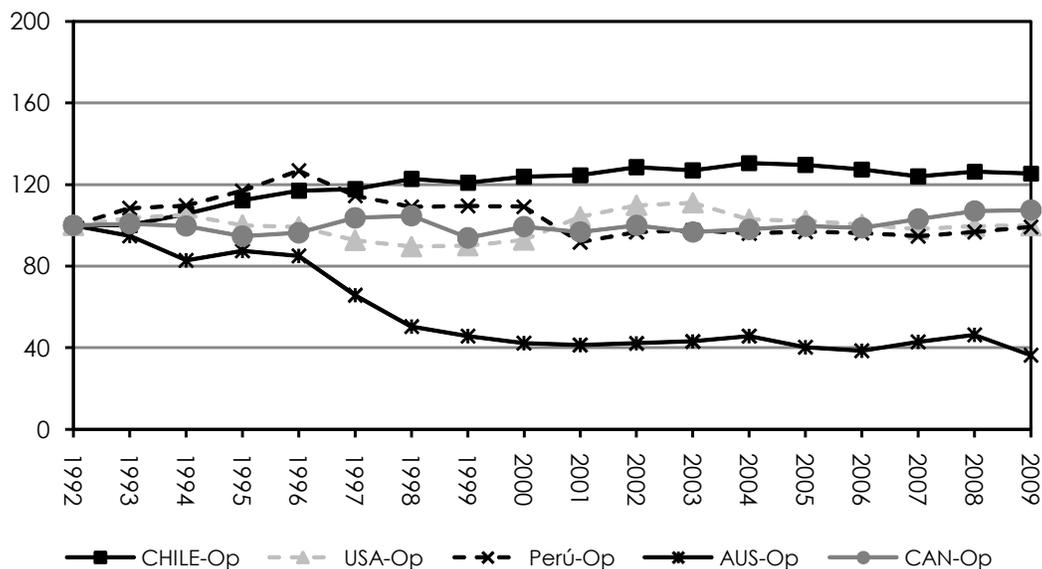
El efecto fijo α_i , representa el nivel base de productividad de cada mina, por lo que el índice EF_t muestra su evolución y cómo este nivel va cambiando para cada subgrupo a través del tiempo. Si la tecnología disponible para la minería del cobre fuese estable a través de los años, y las faenas más productivas se explotaran primero, el índice EF_t tendería a decaer en el tiempo. Por otro lado, si la tecnología incorporada por el nuevo capital se incrementa permanentemente, de modo que periódicamente se van incorporando cambios tecnológicos o mejoras en los procesos de producción, ceteris paribus, entonces el índice EF_t tendería a aumentar. Por último, si existe un equilibrio entre la mantención de faenas menos productivas y la incorporación de nueva tecnología que incrementa la productividad, de modo que ambas fuerzas opuestas se anulan, este índice se mantendría estable y no se observarían grandes saltos a través del período de análisis. Por otro lado, el promedio del parámetro asociado a los efectos fijos, para todas las minas durante el período de análisis es cero. No obstante, para un año en particular, generalmente el valor de este coeficiente difiere de cero y varía a través del tiempo, en la medida que van entrando y saliendo minas. En las Figuras N°3-A y 3-B se muestra la evolución de este índice para cada uno de los subgrupos.

FIGURA N°3-A: INDICE DE LOS EFECTOS FIJOS
Producción Subterránea. Base 1992 = 100.



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de resultados de la regresión.

FIGURA N°3-B: INDICE DE LOS EFECTOS FIJOS
Producción a Rajo Abierto. Base 1992 = 100.



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de resultados de la regresión.

Para el caso de la producción subterránea (Figura N°3-A), se desprende que para cuatro de los cinco subgrupos el índice es bastante estable, excepto para Estados Unidos el que exhibe un comportamiento disímil en el período de análisis. Los primeros años el índice para este país aumenta de manera importante, impulsado por la entrada en producción de Continental¹⁶ y Mission¹⁷, pero principalmente por la entrada de nueva producción de San Manuel con tecnología SX-EW, que duplicó su nivel entre 1992 y 1998 (pasó de 10.8 MTM a 20.0 MTM), incrementando su importancia relativa. Así, la producción proveniente de faenas subterráneas de Estados Unidos alcanzó un peak de 140.2 MTM en 1998. Sin embargo, el año 1999 San Manuel disminuyó su producción en un 53% (pasó de 102.5 MTM a 48.2 MTM), y con ello su importancia relativa. Finalmente, San Manuel cerró sus operaciones el del año 2000, con ello, la producción subterránea de Estados Unidos cayó a escuálidas 20 mil toneladas, principalmente abastecidas por faenas de menor tamaño que presentan niveles inferiores de productividad.

En el caso de la producción a cielo abierto (Figura N°3-B), se observa que tres de los cinco subgrupos muestran un nivel bastante similar y estable, a excepción de Australia y Chile. Mientras el primero, luego de un período bastante estable, exhibe una caída del índice entre 1996-1998, la que se explica básicamente por la entrada de nueva producción pero de muy baja productividad inicial. Este es el caso de Ernest Henry el año 1997 y posteriormente Cadia Hill y Reward Highway el año 1998. Si bien, estas faenas luego recuperan su productividad, ésta no alcanza los niveles observados durante los primeros años de la década de los noventa. Además, esta recuperación se ve frenada por la entrada paulatina de operaciones con baja productividad -respecto a sus niveles promedio históricos-, pero el efecto más fuerte y que tiende a anular los mejoramientos del índice se explican por la salida de producción eficiente. Lo anterior, ha hecho que el índice para las faenas a cielo abierto australianas se haya mantenido parejo y por debajo de los demás subgrupos.

El caso de Chile resulta interesante, porque el índice aumenta los primeros años por la entrada de nuevas faenas. Según se desprende del Anexo N°3, el número de minas aumentó un 84% entre 1992 y 1996, pasando de 13 a 24 faenas y, luego a 30 en 1998. Esto ha hecho que el índice para el caso de nuestro país, luego del alza inicial, se haya mantenido estable por los últimos 12 años.

¹⁶ Pasó de 1.2 MTM a 12.9 MTM entre 1993 y 1997.

¹⁷ Pasó de 2.7MTM a 6.1 MTM entre 1996 y 1997.

Efecto Escala

El índice EE_t refleja los cambios en la productividad laboral asociados a cambios en la escala de producción, es decir, relacionados a expansiones o contracciones de nivel.

La Figura N°4-A resume la evolución de este índice para cada uno de los subgrupos. El índice para Estados Unidos da cuenta de una espectacular caída entre 1998 y 2000, que se explica por la salida de San Manuel, que en 1999 deja de producir en torno a las 100.0 mil toneladas¹⁸. El caso de Perú también es interesante, porque a pesar de que se observan relativamente pocos ingresos (Ver Anexo N°1), si el aumento paulatino de otras faenas polimetálicas que aportan pequeñas cantidades de cobre tienen un efecto importante sobre el índice. El resultado es que al comparar los niveles de producción entre 1992 y 2009, la escala se ha duplicado.

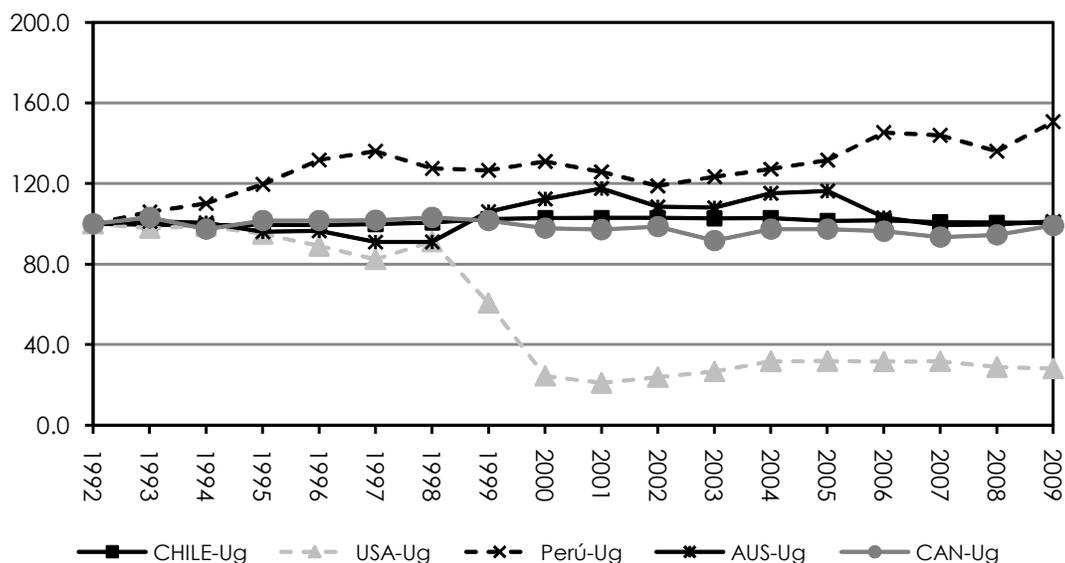
Para el caso de Chile, se observa que el índice es bastante estable. A pesar de que sí se han observado cambios importantes en el nivel de producción, éstos no son importantes para explicar la evolución de la productividad. Por otro lado, la producción promedio tampoco ha variado. Por ejemplo, Andina entre 1996 y 1999 aumentó en casi 100 mil toneladas su producción, sin embargo la salida de un número importante de otras faenas - pasan de 14 a 9-, anuló este importante aumento.¹⁹

La Figura N°4-B entrega la evolución de este índice para los datos de la producción a cielo abierto. De esta serie, destaca el aumento paulatino y estable de Australia, que pasó de una producción en torno a las 10 mil toneladas anuales a cerca de las a 200 mil en 2001. En este período el crecimiento de la producción fue creciente. A partir de 2001, el índice se mantiene relativamente estable, aunque de todas formas siguen entrando y saliendo operaciones (Ver Anexo N°1). El caso de Perú, también resulta atractivo. Entre 1992 y 2000 exhibe un alza suave y paulatina, la que experimenta un abrupto salto en 2002 impulsado por el aumento de producción de Antamina. Si bien, esta faena entra el año 2001, su primer año de operación compensa la disminución observada en la producción de otras faenas (Tintaya y Cuajone), por ello que el salto es reconocido el año 2002 y no el año anterior.

¹⁸ En 1998, San Manuel representaba cerca del 70% de la producción subterránea de cobre de Estados Unidos.

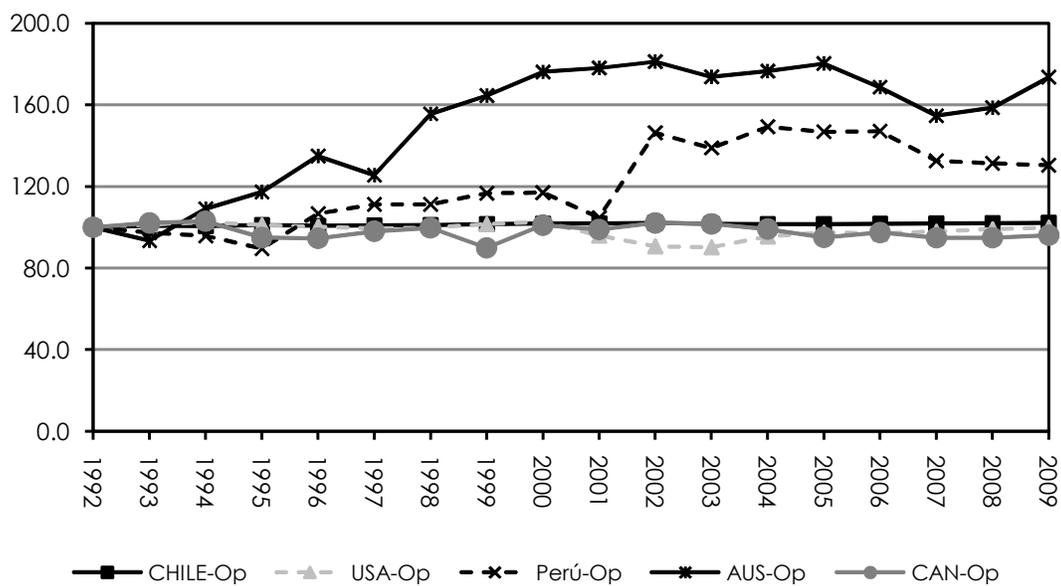
¹⁹ Ver Anexo N°3.

FIGURA N°4-A: INDICE DEL EFECTO ESCALA
Producción Subterránea. Base 1992 = 100.



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de resultados de la regresión.

FIGURA N°4-B: INDICE DEL EFECTO ESCALA
Producción a Rajo Abierto. Base 1992 = 100.



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de resultados de la regresión.

El índice para Chile muestra un comportamiento bastante estable. A pesar de que el número de faenas prácticamente se triplica entre 1992 y 2008 (Ver Anexo N°1), el tamaño promedio no muestra grandes variaciones, por lo que el índice para nuestro país no muestra grandes cambios.

Efectos Geológicos

Los efectos geológicos Z_{it} , representan las características naturales de cada mina, por lo que el índice EG_t es un reflejo de la evolución de las condiciones geológicas y cómo éstas han ido cambiando para cada subgrupo a través del tiempo.

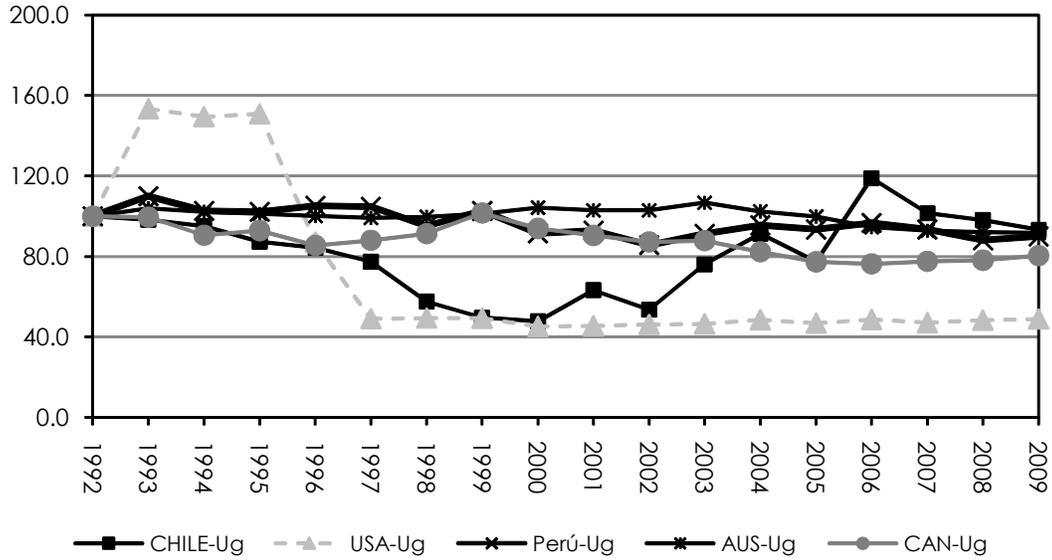
La Figura N°5-A, muestra el comportamiento y evolución de este índice para las minas subterráneas. Para el caso de Chile, se observa que éste cae gradualmente los primeros años de la muestra (1992 -1997), influenciado por la caída paulatina de las leyes de mineral, principalmente en El Teniente y Andina²⁰, pero la caída más pronunciada - observada en 1997-, se asocia a una reevaluación de las reservas, resultante de la fuerte caída en el precio del cobre observada en esos años. A partir del año 2003, como consecuencia del aumento en el precio del cobre, este mismo efecto se revierte. En la Tabla N°6 se observa que la correlación entre las reservas y el precio es bastante alta (0.81). Este resultado se refuerza al observar el Anexo N°4, donde se muestra que la evolución de las reservas ha seguido muy de cerca la evolución del precio del cobre.

El caso de Estados Unidos es bastante especial, por el impacto que tiene una faena en particular. Primero, entre 1992 y 1993, el índice muestra un fuerte incremento explicado por el aumento de la ley de extracción de Superior, la que se incrementó en un 25% (pasó de 4.1% a 5.1%)²¹. Posteriormente, la caída observada entre 1995 y 1997, se explica, principalmente por la salida de esta misma faena, la que tenía una ley de extracción muy por encima del promedio de las otras faenas.

²⁰ Ambas representan más del 80% de la producción chilena proveniente de la minería subterránea.

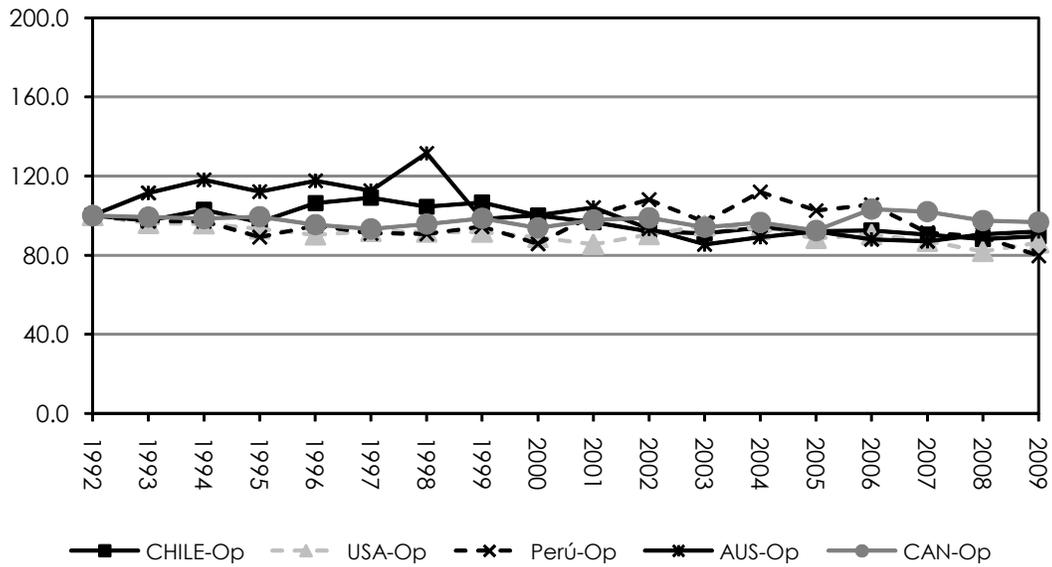
²¹ A pesar de que San Manuel in situ SX-EW comenzó sus operaciones a mediados de la década de los ochenta, la serie de reservas sólo está disponible a partir de 1993. Dada la importancia de San Manuel, es que el índice exhibe un gran salto inicial.

FIGURA N°5-A: INDICE DE LOS EFECTOS GEOLÓGICOS
Producción Subterránea. Base 1992 = 100.



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de resultados de la regresión.

FIGURA N°5-B: INDICE DE LOS EFECTOS GEOLÓGICOS
Producción a Rajo Abierto. Base 1992 = 100.



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de resultados de la regresión.

La Figura N°5-B, presenta la evolución de este índice pero para la producción a cielo abierto. Se observa un comportamiento estable para todos los subgrupos, salvo para Australia que muestra un moderado incremento a partir de 1992, pero con un gran salto entre 1997 y 1998. El alza de los primeros años se explica por la entrada de nuevas minas (Ver Anexo N°1); mientras que el fuerte incremento de 1997-1998, por la entrada de Ernest Henry y Northparkes. Pero el mayor impacto viene dado por el inicio de operaciones de Reward-Highway que entra con una ley de 12.45%, la que en 1999 cae abruptamente en torno a un 50% y el índice del país se estabiliza en torno a 100.

TABLA N°6: CORRELACIÓN PRECIO DEL COBRE - RESERVAS
Período 1992 - 2009

	Reservas	Precio Real
Reservas	1.000	
Precio Real	0.819	1.000

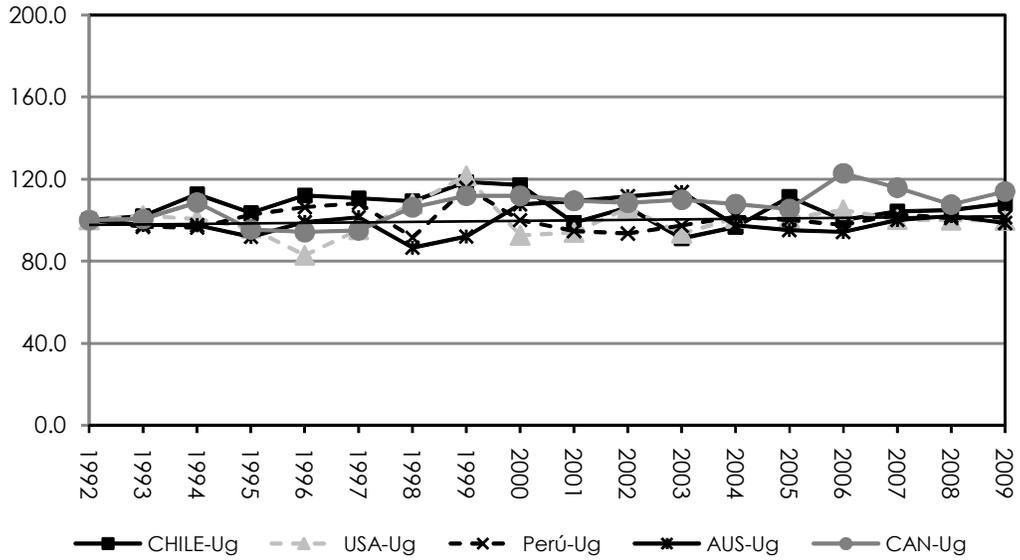
Fuente: Elaboración Cochilco a base de datos propias y de Brook Hunt.

Efecto de los Residuos

El efecto de los residuos, ER_t , recoge la parte no explicada de la regresión. En esencia este componente sirve para comparar la importancia del resto de los índices sobre la productividad laboral con respecto a lo que no se puede captar a través de la regresión.

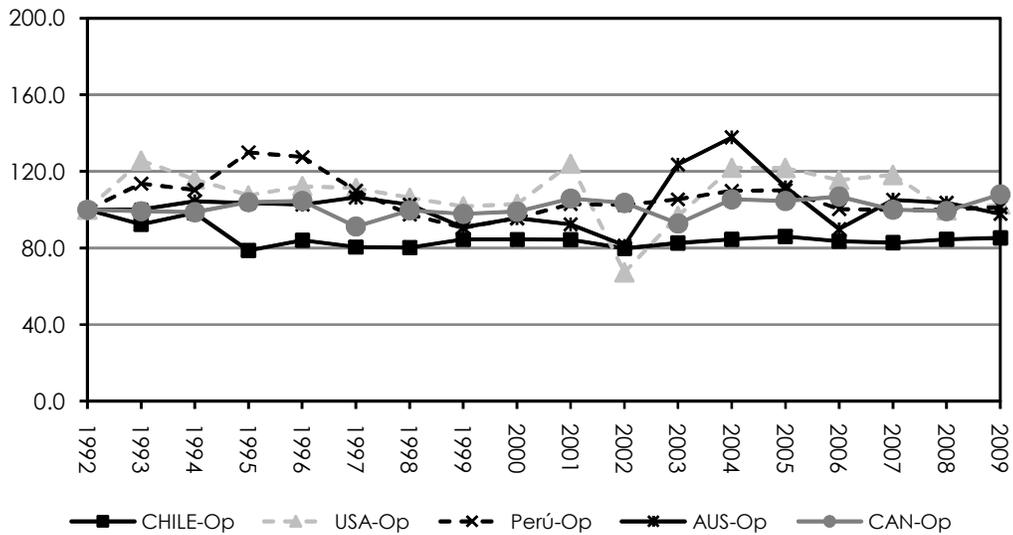
El índice para las faenas subterránea (Figura N°6-A), se comporta en general, bastante estable para todos los subgrupos. Por lo que se puede deducir, que las variables consideradas en la estimación, explican razonablemente el comportamiento de la productividad. Por su parte, la Figura N°6-B, muestra el comportamiento para las faenas a rajo abierto. Este índice muestra una mayor variabilidad, pero sin exhibir una tendencia marcada para algún subgrupo.

FIGURA N°6-A: INDICE DE LOS RESIDUOS
Producción Subterránea. Base 1992 = 100.



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de resultados de la regresión.

FIGURA N°6-B: INDICE DE LOS RESIDUOS
Producción a Rajo Abierto. Base 1992 = 100.



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de resultados de la regresión.

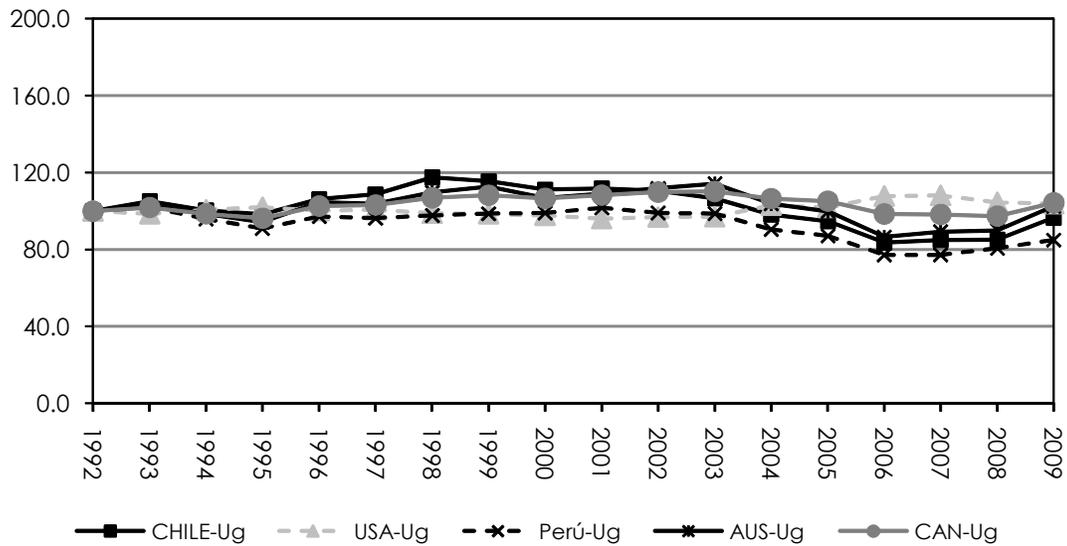
Efecto de los Precios

La regresión auxiliar computa los efectos temporales y permite separarlos en dos componentes: el primero que refleja el efecto de cambios en los precios del cobre y en los salarios pagados; y otro, que refleja aquella parte no explicada por estas variables o residuo del efecto temporal.

La Figura N°7-A muestra la evolución del índice para los precios en la minería subterránea. De la figura se aprecia que este índice se ha mantenido bastante estable, con pequeñas fluctuaciones que han seguido el camino opuesto al movimiento del precio del cobre. A partir de esto, es posible sostener que el efecto relativo de los precios de los productos (en este caso el cobre), que tienen una relación negativa con la productividad, ha predominado frente al efecto relativo de los precios de los insumos (en este caso los salarios), que tienen una relación positiva. Sin embargo, este último ha tendido a suavizar el impacto del primero sobre la productividad laboral.

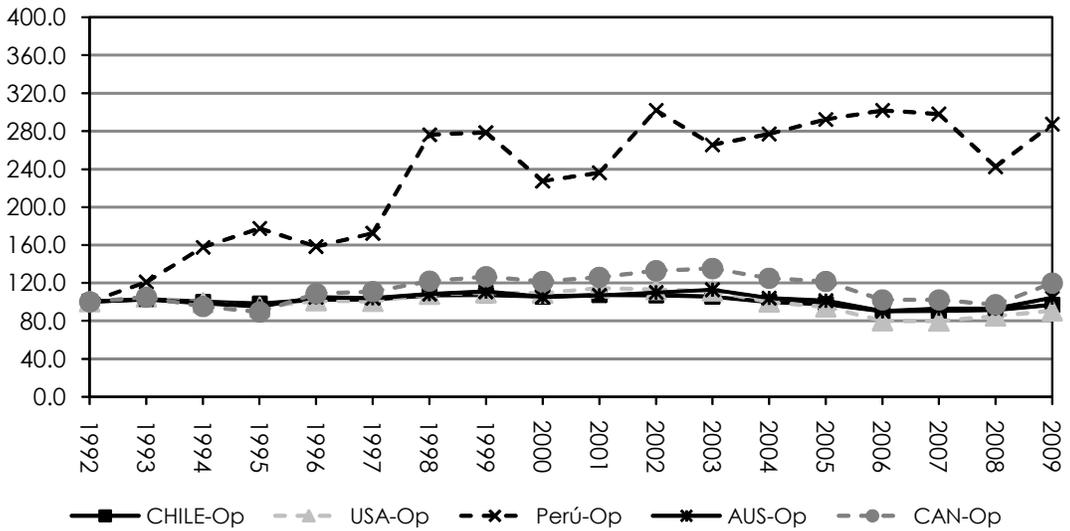
La Figura N°7-B que refleja el comportamiento de este índice para las faenas a cielo abierto, muestra un movimiento similar al de las faenas subterráneas, excepto para Perú. Para el caso de este país, el efecto de los salarios sobre la productividad ha predominado sobre el efecto precio, incrementando el índice y haciendo que éste se desvíe por sobre el resto de los subgrupos. Mientras éste alcanza un promedio de 280 entre 2002 y 2009, el resto de los países se mantiene en torno al rango base de 100 por casi todo el período. Una eventual explicación para este comportamiento vendría por el fuerte aumento en los salarios, principalmente en el período 1993-1998, asociado a Cujone y Toquepala. De esta manera, la tasa de crecimiento de los salarios de Perú aumentó más de 5 veces el promedio de los otros países. Con ello, los salarios en Perú entre 1993 y 2008 se han incrementado, en promedio un 9.6% anual. Esto es, casi el doble del aumento observado en los salarios en Chile, tres veces los americanos y en torno a 1.5 veces los australianos y canadienses (Ver Anexo N°5).

FIGURA N°7-A: INDICE DE LOS PRECIOS
Producción Subterránea. Base 1992 = 100.



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de resultados de la regresión.

FIGURA N°7-B: INDICE DE LOS PRECIOS
Producción a Rajo Abierto. Base 1992 = 100.



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de resultados de la regresión.

Efecto del Residuo Temporal

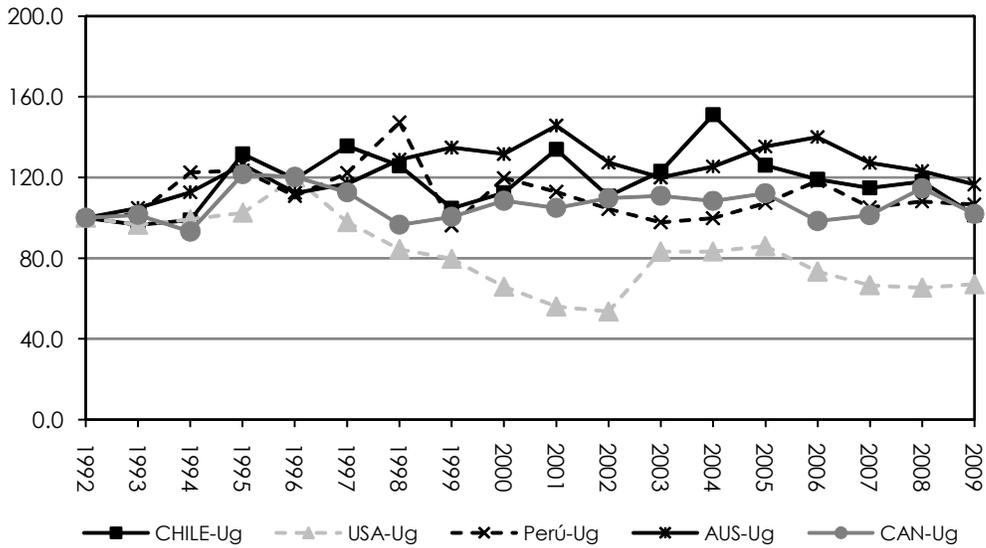
Este índice recoge la parte de la variación temporal común para cada subgrupo, no explicada por cambios en los precios del cobre ni en los salarios. En otras palabras, estaría recogiendo cambios tecnológicos, cambios en las regulaciones mineras de cada país, etc.

La Figura N°8-A muestra el índice de este efecto para las faenas subterráneas. Se desprende que la totalidad de los subgrupos, excepto Canadá, exhiben un importante grado de variabilidad, destacando la caída de Estados Unidos a partir de 1996, la que se explica por el paulatino cierre de faenas subterráneas y la mantención de minas más pequeñas y que utilizan tecnología y métodos de explotación, menos eficiente u obsoleta. Por esta razón, el índice para este país se ubica muy por debajo comparado con el resto de los subgrupos y en torno al nivel 70, esto es, las cifras para los últimos años son alrededor de un 30% inferior que 1992.

La Figura N°8-B, muestra el mismo índice para las faenas a cielo abierto. En el caso de Chile, se observa el impacto positivo de la tecnología SX-EW que en el país tuvo su época de desarrollo durante los noventas. Tal como se desprende del Anexo N°6, esta tecnología de procesamiento pasó de representar un 5% de la producción de Chile en 1992 a más del 40% en 2008. De esta manera, el índice del residuo temporal, que como se señaló anteriormente recoge cambios transversales a la industria de un determinado país (e.g. tecnologías, regulaciones), muestra un alza importante, pasando del índice 100 a 160 entre 1992 y 1997, manteniéndose en torno a este valor por los siguientes 10 años. En los últimos años se observa que el pool de procesamiento se ha estabilizado²², por lo que el efecto positivo asociado al cambio tecnológico sobre la productividad laboral se ha tendido a diluir y el índice ha comenzado a caer, situándose cercano al valor 120.

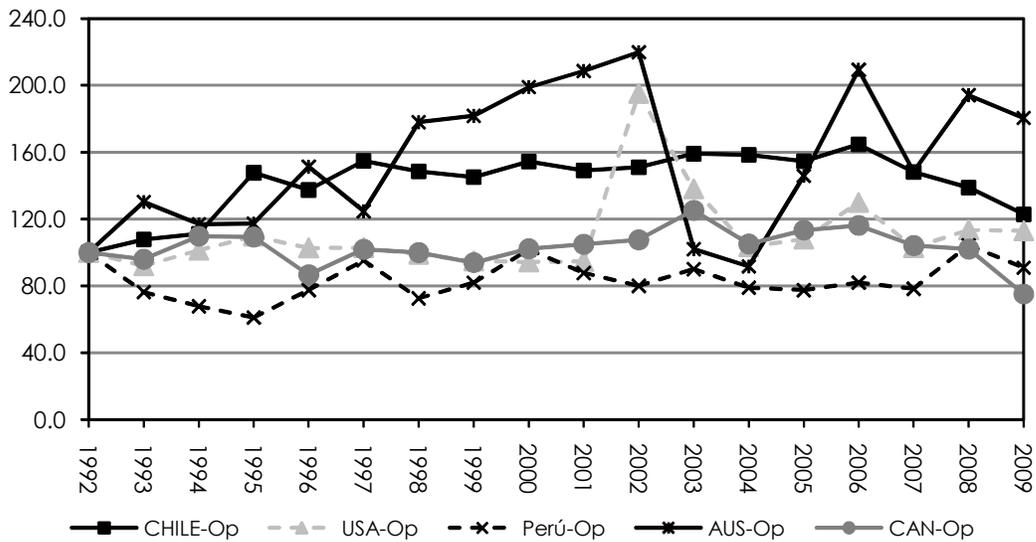
²² Ver Anexo N°6.

FIGURA N°8-A: INDICE DEL EFECTO DEL RESIDUO TEMPORAL
Producción Subterránea. Base 1992 = 100.



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de resultados de la regresión.

FIGURA N°8-B: INDICE DEL EFECTO DEL RESIDUO TEMPORAL
Producción a Rajo Abierto. Base 1992 = 100.



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de resultados de la regresión.

Para el caso de Estados Unidos, se observa una mantención del índice en torno al valor 100 y un aumento entre 2001 y 2002. Al igual que el caso chileno, el efecto de la tecnología SX-EW, explica gran parte de este comportamiento. Por su parte, Australia exhibe un mejoramiento sostenido del índice hasta el año 2002; luego del cual exhibe una alta volatilidad con tendencia a la baja. Algunos estudios para el caso australiano, muestran que después de la crisis asiática existió un fuerte retroceso en las inversiones en capital orientadas al sector, las que se retomaron sólo a partir de 2005. Además, durante la última década ha existido numerosa inversión de capital que ha requerido gran cantidad de mano de obra, pero que aún no se ha traducido en aumentos concretos de producción, lo que explica gran parte la caída de la productividad laboral de los últimos años.²³

4.3 Agregando los Efectos: El caso de Chile

La Figura N°9-A, muestra la evolución de la productividad laboral en la minería subterránea en Chile. La línea negra continua refleja el valor verdadero, mientras que la línea negra y la línea gris discontinua muestran el valor estimado y el estimado corregido, respectivamente. Se muestra una línea estimada "corregida", porque el modelo, para el caso de las faenas subterráneas, tiende a sobrestimar el peso relativo del componente geológico, dada la alta correlación existente entre las reservas y la escala de producción. Una vez removido este efecto, el modelo corregido se comporta correctamente, explicando los movimientos de la productividad laboral en una proporción importante.

El período de incremento inicial de la productividad, que se extiende desde 1992 a 1997, se explica principalmente por el efecto del residuo temporal (RT_t), asociado a cambios tecnológicos y de gestión. En efecto, durante los noventa, Codelco centró sus esfuerzos en reducir costos y aumentar productividad en todas sus operaciones para mantenerse competitiva (García *et al*, 2001). Esto es importante, porque más del 80% de la producción total de faenas subterráneas en Chile proviene de operaciones de la estatal chilena (Ver Anexo N°7), de modo que lo que sucede en Codelco pasa a ser transversal para la minería subterránea en Chile. Posteriormente, entre 1997 y 2002, el efecto precio (EPt) tuvo un rol importante. La baja observada en el precio del mineral durante esos años, llevó a que Codelco mantuviera las políticas implementadas a inicios de la década y que el resto

²³ Australian Industry Group, 2008.

de la industria siguiera un camino similar. Con todo, el efecto del residuo temporal (RT_t) siguió siendo relevante.

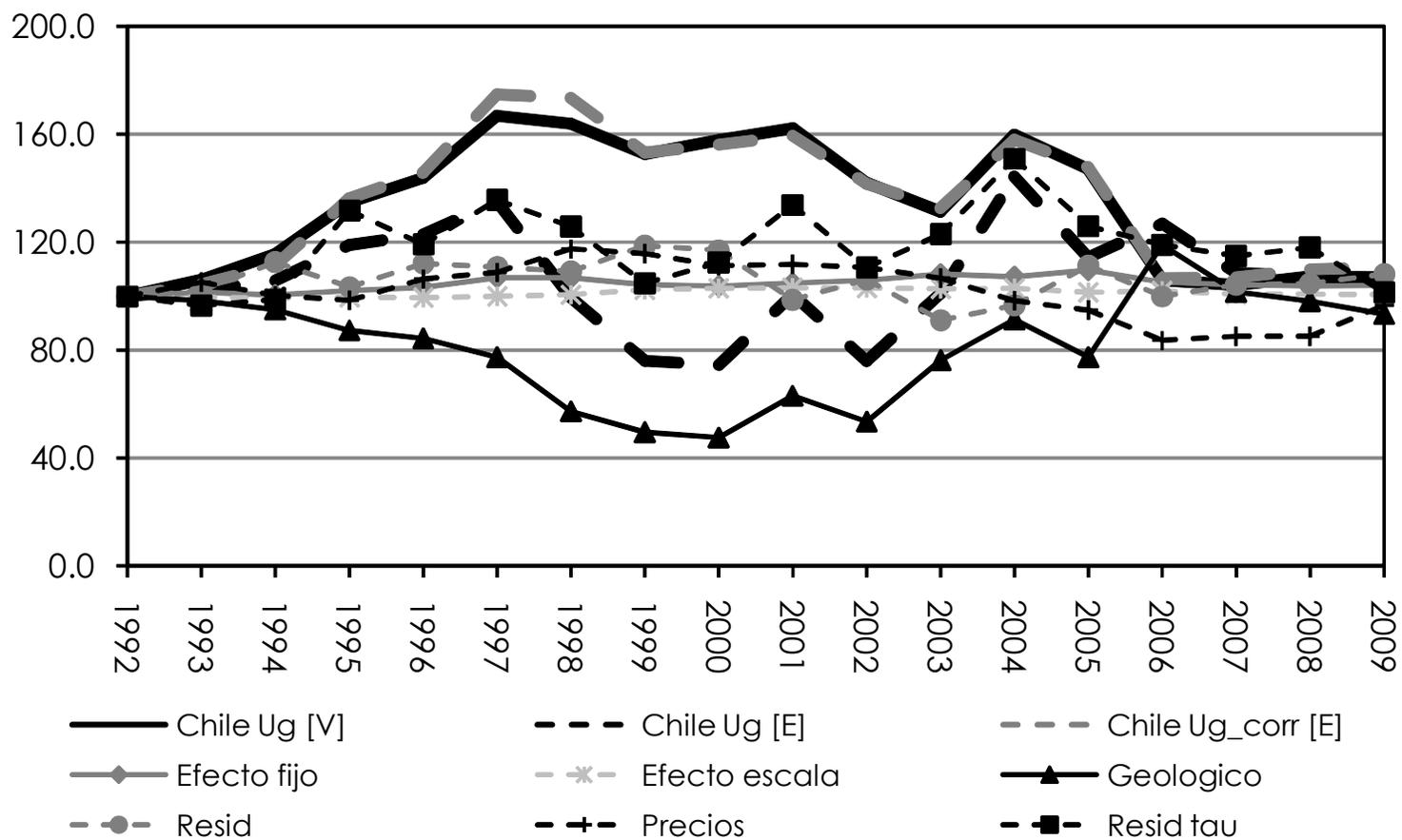
Después de 2004, la productividad laboral presenta una tendencia a la baja. La interacción de dos factores explica gran parte de esta trayectoria. Primero, el *boom* en el precio de los *commodities*, generó un efecto negativo en la productividad. Existe consenso que en períodos de precios altos, el objetivo está en aprovechar la coyuntura, con lo que las minas están enfocadas sólo en producir a máxima capacidad, sacrificando eficiencia. Con ello, la productividad tiende a decaer. Lo anterior es recogido por la caída del índice del efecto precio (EP_t) a partir, precisamente de 2004. Segundo, el aumento de la dotación propia observada en las divisiones Andina y El Teniente, como resultado del fuerte plan de inversiones liderado por ambas, ha presionado a la baja a la productividad, ya que la producción asociada a dichos planes de inversión -como es común en minería-, se materializa con algunos años de rezago, lo que se ve reflejado en la caída del índice del residuo temporal (RT_t), pues es reconocido como un shock temporal para las dos faenas más grandes, lo que mueve a la industria.

La Figura N°9-B, muestra la evolución de la productividad laboral de las faenas a rajo abierto en Chile. La línea negra continua refleja el valor verdadero, mientras que la línea gris discontinua el valor estimado. Se desprende que el movimiento de la productividad está fuertemente ligado al efecto del residuo temporal (RT_t). El índice crece de manera sostenida hasta 1997. La incorporación de la tecnología SX-EW tuvo un rol fundamental en este aumento. Luego, entre 1997 y 2007, el índice RT_t , se mantiene relativamente estable y en torno a 150. A partir de 2007, el índice comienza decrecer.

El efecto fijo (EF_t), por su parte, tuvo un papel importante en el aumento inicial. La entrada de nuevas operaciones a partir de principios de los noventa impulsó el mejoramiento de este índice. A partir de 2002, este índice se ha mantenido relativamente estable.

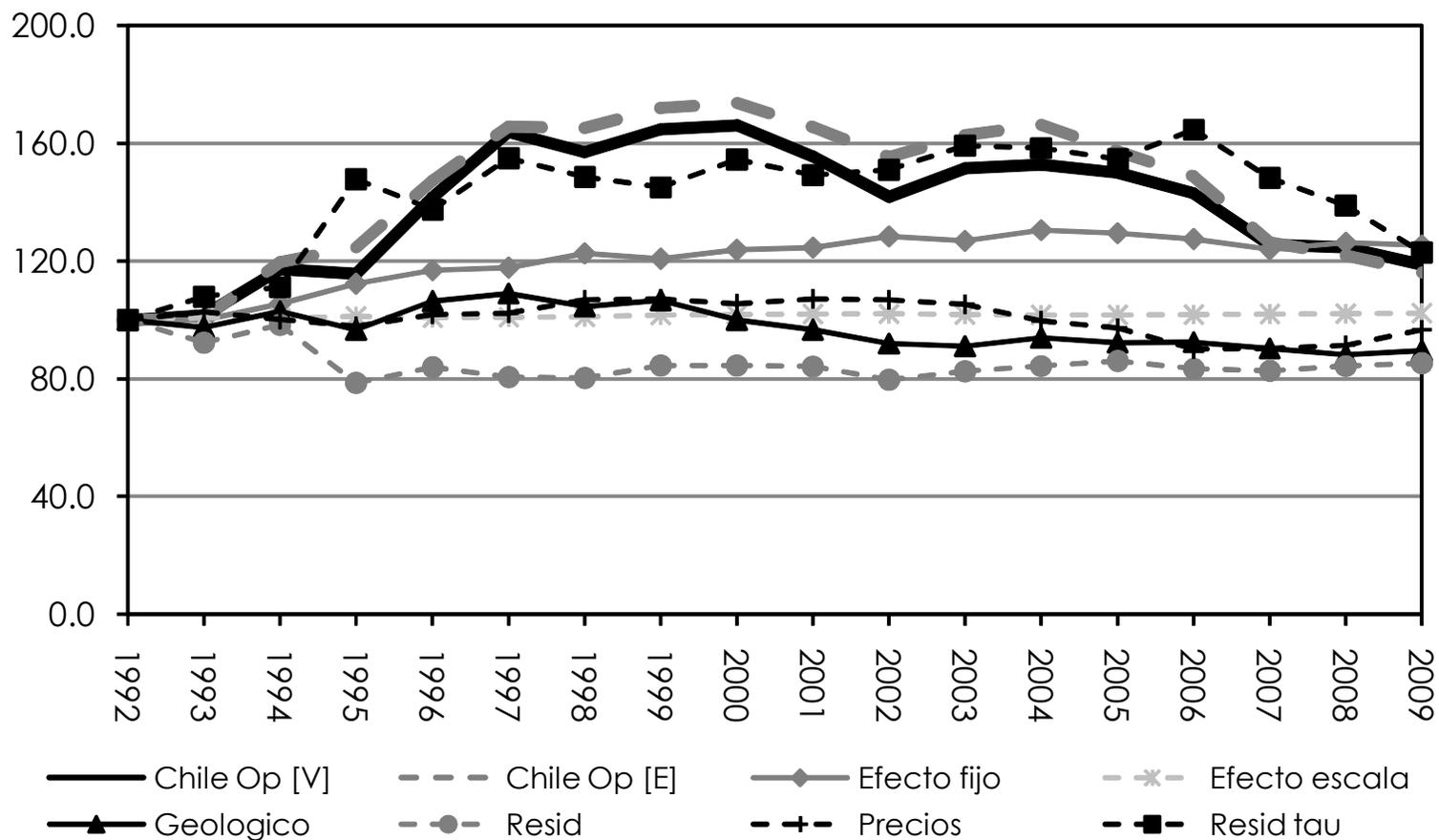
El efecto escala (EE_t) ha exhibido una variación nula. Mientras que el efecto precio (EP_t) y el efecto geológico (EG_t), muestran una variación moderada. Entre 1997 y 2003 el efecto precio presentó un efecto positivo sobre la productividad. A partir de 2004, este efecto ha ido en la dirección opuesta. Por su parte, el efecto geológico (EG_t), ha tenido un impacto negativo sobre la productividad desde finales de los noventa. Esto se explica por el envejecimiento natural de los yacimientos y la reducción de la cartera de proyectos.

FIGURA N°9-A: CONTRIBUCIÓN DE LOS DISTINTOS EFECTOS A LA PRODUCTIVIDAD
Producción Subterránea. Base 1992 = 100.



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de resultados de la regresión.

FIGURA N°9-B: CONTRIBUCIÓN DE LOS DISTINTOS EFECTOS A LA PRODUCTIVIDAD
 Producción a Rajo Abierto. Base 1992 = 100.



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de resultados de la regresión.

5. Conclusiones

La productividad laboral ha sido ampliamente estudiada y analizada. La evidencia señala que es clave para explicar las diferencias en crecimiento entre los países. En cuanto a la evolución de la productividad laboral en la minería del cobre, existen varios estudios para el caso de Estados Unidos y Chile, los que muestran que la adopción de nuevas tecnologías y la entrada en operación de nuevas minas explican los cambios de productividad observados en el sector.

Este trabajo analiza las fuerzas que han estado detrás de los cambios en productividad laboral en la minería en Chile, haciendo una comparación con los resultados de otros países productores de cobre. Se usan datos de panel para 7 países (Chile, Estados Unidos, Canadá, Perú, Australia, Rusia/Kazajstán y Zambia/R.D. Congo) en el período 1992-2009 y una metodología que permite descomponer los cambios en productividad de acuerdo a si estos son explicados por características particulares de cada mina (por ejemplo capacidad de gestión), economías de escala, factores geológicos o shocks temporales.

En primer lugar, se encuentra que los patrones de productividad difieren de acuerdo al tipo proceso en cada mina, es decir, si estas son subterráneas o a rajo abierto. Lo anterior lleva a realizar un análisis separado para ambos tipos de producción.

Los resultados muestran que para la minería del cobre, el nivel de producción y la ley del yacimiento afectan positivamente la productividad. Mientras que la razón estéril-mineral, para el caso de las minas a rajo abierto, tiene un efecto negativo. Los resultados anteriores, están en línea con lo reportado por estudios previos y por lo que indica la intuición económica. En cuanto al efecto de las reservas sobre la productividad laboral, se observa que su resultado es ambiguo. Una eventual explicación para este comportamiento, podría venir por la fuerte relación que existe entre la valorización de éstas, la evolución de los precios y la productividad. Por último, los datos también reflejan que los distintos países de la muestra son afectados de manera diferente por cada una de las variables.

En efecto, para el caso de la minería subterránea, el movimiento de la productividad laboral en Australia estuvo influida principalmente por cambios transversales en la industria, recogidos por el residuo del componente temporal. Para el caso de Perú, el

efecto escala es predominante, mientras que en Estados Unidos, la tendencia de la productividad es el reflejo de la interacción de todas las variables. En cuanto a la evolución de la minería a cielo abierto, el comportamiento de Perú llama la atención: el efecto de los precios determina la evolución de la productividad laboral principalmente entre 1993 y 1998, luego del cual el efecto se mantiene alto, pero estable. Para Australia, el incremento de la productividad laboral en la primera mitad del período de análisis, refleja el impacto del efecto escala y del residuo temporal, los que compensan la caída en los efectos fijos. A partir de 2002, es la evolución de los residuos temporales lo que marca la tendencia decreciente de la productividad.

Una de los aportes de este trabajo consiste en explicitar dentro de la estimación factores geológicos de cada mina. Esto permite tener una aproximación más precisa de los factores que están detrás las cifras de productividad laboral, en lugar de atribuirlos a efectos fijos. Llama la atención que tanto para Chile como para el resto de los países, los factores geológicos muestren un aporte más bien menor en la explicación de la evolución de ésta.

Para el caso de Chile, se concluye que la introducción de la tecnología SX-EW tuvo un rol fundamental en el salto en la productividad de la mano de obra observada en las faenas a rajo abierto a inicios de los noventa. Este efecto queda recogido por la importancia del índice de los residuos temporales, que muestra que la productividad laboral durante los años analizados fue principalmente guiada por la existencia de *shocks*, no relacionados con los precios del cobre ni del trabajo. Para el caso de la producción subterránea, han sido una serie de factores los que se han conjugado para explicar la evolución de la productividad laboral. El período de incremento inicial que se extiende desde 1992 a 1997, se explica principalmente por el rol que jugó Codelco con la incorporación de tecnología y la introducción de mejoras sistemáticas y sucesivas en la gestión. Lo anterior también lo recoge el efecto del residuo temporal. Luego, entre 1997 y 2002, el efecto precio cobra relevancia. La baja observada en los precios del cobre en esos años, le pone presión a las empresas, las que se ven obligadas a introducir mejoras para seguir siendo competitivas y permanecer en el mercado.

Los hallazgos anteriores son importantes, sobre todo cuando se trata de tomar decisiones acerca de la manera de incrementar la productividad laboral de nuestra principal industria exportadora. Es la forma de hacer las cosas, la adopción de nuevas tecnologías

y mejoras en la gestión lo que explica los patrones de productividad. Ni mayores niveles de producción, ni yacimientos de mejor ley son suficientes, en la actualidad, de impulsar un mejoramiento sostenido en ésta. Los esfuerzos, por lo tanto, debieran dirigirse principalmente a incrementar la innovación y la investigación y desarrollo al interior de la industria, en pos de una mayor competitividad a futuro.

6. Bibliografía

- Australian Industry Group (2008), "How Fast can Australia Grow?", Discussion Paper, Mark III, Australian Industry Group.
- Aydin, H. & J. Tilton (2000), "Mineral endowment, labor productivity, and comparative advantage in mining", Resources and Energy Economics, Vol. 22, pp. 281-293.
- Basu, S., J. G. Fernald, N. Oulton & S. Srinivasan (2003), "The Case of the Missing Productivity Growth: Or, Does information technology explain why productivity accelerated in the United States but not the United Kingdom?", Harvard Institute of Economic Research, Discussion Paper N° 2021.
- Beyer, H. & R. Vergara (2002), "Productivity and Economic Growth: The case of Chile", en Economic Growth: Sources, Trends, and Cycles, editado por N. Loayza & R. Soto, Banco Central de Chile, pp. 309-341.
- Easterly, W. & R. Levine (2002), "It's not factor accumulation: Stylized facts and growth models", en "Economic Growth: Sources, trends and cycles", editado por N. Loayza y R. Soto, Santiago de Chile, Banco Central de Chile, pp. 61 – 214.
- Ellerman, A.D., T. Stoker & E. Berndt (1998), "Sources of productivity growth in the American coal industry", Center for Energy and Environmental Policy Research, Working Paper 98004, MIT.
- Ewing, R., S. Fenner, S. Kennedy & J. Rahman (2007), "Recent productivity outcomes and Australia's potential growth", Economic Roundup Winter. Disponible en <http://www.treasury.gov.au>
- Fernald, J. & S. Ramnath (2004), "The acceleration in U.S. total factor productivity after 1995: The role of information technology", Economic Perspective, IT/2004.
- García, P., P. Knights & J. Tilton (2001), "Labor productivity and comparative advantage in mining: The copper industry in Chile", Resources Policy Vol. 27, pp. 97-105.
- Jorgenson, D. & K. Stiroh (2000), "Raising the speed limit: U.S. economic growth in the information age," Brooking papers on Economic Activity, Vol. 1, pp. 125-211.
- Moguillansky, G. (1998), "Chile: Las Inversiones en el sector minero 1980-2000", Serie Reformas Económicas Vol. 3, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Santiago.
- Stoker, T., E. Berndt, A. Ellerman & S. Schennach (2005), "Panel data analysis of U.S. coal productivity", Journal of Econometrics, Vol. 17, pp. 131-164.

- Tilton, J. & H. H. Landsberg (1997), "Innovation, Productivity Growth, and the Survival of the U.S. Copper Industry", Resources for the Future, Discussion Paper 97-41.
- Tilton, J. (2001), "Labor productivity, costs, and mine survival during a recession", Resources Policy, Vol. 27, N°2, pp. 107-117.
- Vergara, R. & R. Rivero (2005), "Productividad sectorial en Chile: 1986-2001", Instituto de Economía UC, Documento de Trabajo N°286.

ANEXO N°1: NÚMERO DE FAENAS EN OPERACIÓN

Período 1992 - 2009

Subgrupo	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Chile-Ug	10	11	13	13	14	13	13	8	8	8	8	9	10	12	11	11	12	12
USA-Ug	8	9	8	7	7	6	6	5	5	5	4	3	2	2	2	2	2	2
PER-Ug	15	14	14	16	15	15	16	14	13	16	18	17	17	17	17	19	20	20
AUS-Ug	12	12	12	15	16	15	16	15	15	14	14	15	15	16	17	18	19	19
CAN-Ug	21	20	18	19	19	19	18	17	15	14	14	14	13	13	11	12	13	10
Chile-Op	13	14	19	21	24	23	30	30	30	30	30	30	31	30	32	33	34	35
USA-Op	19	21	20	17	18	19	18	17	15	15	10	11	13	13	17	18	21	20
PER-OP	8	8	7	8	6	6	5	5	5	7	6	6	6	6	7	8	9	9
AUS-Op	3	5	5	8	8	9	11	11	10	10	10	11	9	12	12	14	15	16
CAN-Op	12	10	11	11	10	12	12	10	9	9	8	8	7	9	9	11	11	11
Total general	121	124	127	135	137	137	145	132	125	128	122	124	123	130	135	146	156	154

Fuente : Elaboración Cochilco a base de datos Brook Hunt.

ANEXO N°2: PRODUCCIÓN MUNDIAL DE COBRE DE MINA

Miles de TM en cobre fino.

Período 1992 - 2008

Country	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Australia	329.6	373.6	380.7	363.0	478.3	513.9	581.0	679.1	783.4	844.7	800.8	772.8	769.6	874.6	838.5	822.2	865.4	1,013.8
Canada	727.4	690.9	577.1	688.8	643.9	613.4	660.1	581.6	592.8	586.5	565.2	517.5	521.8	544.4	554.9	544.8	548.0	568.0
Chile	1,856.5	1,870.9	2,064.2	2,333.1	2,898.8	3,257.5	3,530.2	4,228.9	4,461.1	4,597.5	4,431.6	4,749.9	5,209.6	5,115.2	5,152.6	5,327.5	5,164.9	5,366.0
Rusia-Kasajastán	0.0	0.0	0.0	0.0	43.1	45.4	46.4	46.1	885.2	935.5	926.6	943.5	941.7	882.8	937.8	912.7	1,058.5	1,143.4
Peru	355.7	359.8	346.0	385.8	461.1	478.5	462.3	511.3	529.6	698.0	780.6	795.3	990.6	959.8	994.8	1,125.7	1,170.0	1,170.4
USA	1,743.9	1,792.5	1,801.2	1,814.9	1,877.5	1,922.2	1,850.5	1,581.0	1,439.7	1,297.3	1,132.9	1,111.2	1,152.7	1,113.7	1,172.7	1,154.8	1,326.8	1,286.8
Zambia-Congo	574.7	437.2	386.1	340.5	356.0	342.5	347.5	342.8	293.1	325.4	341.3	368.2	404.4	452.1	509.9	573.3	706.2	967.3
Total Muestra	5,587.9	5,525.0	5,555.3	5,925.9	6,758.8	7,173.4	7,478.0	7,970.7	8,984.9	9,284.9	8,978.9	9,258.3	9,990.4	9,942.7	10,161.3	10,460.9	10,839.8	11,515.8
Total Mundial	7,282.7	7,296.6	7,305.6	7,899.2	9,103.8	9,487.2	10,247.0	10,720.4	11,923.4	12,252.2	12,074.8	12,247.8	12,953.0	13,200.9	13,161.0	13,553.7	13,715.6	14,930.9
Participación	77%	76%	76%	75%	74%	76%	73%	74%	75%	76%	74%	76%	77%	75%	77%	77%	79%	77%

Fuente: Brook Hunt, World Metal Statistics y Cochilco.

ANEXO N°3: RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN

Grupo	Coeficientes OLS							N° Obs	R ² Within	R ² Overall
	constante (α)	ln Q	(ln Q) ²	(ln Q) ³	Cugrade	Lreserv	SRTot			
Chile-Ug	-4.4271908*** (-8.65)	0.06540618 (1.44)			0.13487275 (1.66)	0.1224718** (2.97)		160	0.352	0.230
Chile-Op	-5.6892539*** (-7.3)	0.48776477** (3.12)	-0.0201868* (-2.49)		0.53574622*** (5.3)	-0.03796485 (-1.17)	-0.11875843*** (-11.96)	342	0.488	0.362
USA-Ug	-7.663359*** (-7.62)	0.37597826** (3.48)			0.63186081 (1.86)	-0.04528868 (-4.7)		71	0.599	0.188
USA-Op	-10.511956** (-3.08)	1.6409149* (2.41)	-0.07763391* (-2.29)		-0.14404243 (-5.6)	0.08955539 (1.17)	-0.060559*** (-3.66)	265	0.260	0.022
PER-Ug	-15.36662*** (-35.4)	1.7335275*** (13.58)	-0.0929989*** (-8.)		1.4559949*** (7.28)	-0.03122944 (-7.9)		288	0.791	0.781
PER-OP	-9.1572926*** (-17.32)	0.4441962*** (8.44)			1.2652226*** (5.26)	0.19243747** (2.73)	-0.02697716 (-1.25)	115	0.820	0.793
AUS-Ug	-7.1452205*** (-20.76)	0.36378899*** (10.06)			0.16198586*** (5.02)	0.00325599 (.11)		238	0.526	0.742
AUS-Op	-5.6218587*** (-6.85)	0.29385109*** (3.82)			0.21201177** (3.17)	0.02680509 (.35)	-0.02412469 (-1.84)	111	0.530	0.376
CAN-Ug	-7.1967844*** (-21.22)	0.26037889*** (7.22)			0.53242856*** (8.64)	-0.01068228 (-.33)		260	0.510	0.765
CAN-Op	-4.9105248*** (-8.09)	0.20468125** (3.33)			0.30809887 (1.53)	-0.11339017* (-2.54)	-0.09030995*** (-3.9)	128	0.527	0.495
RSKZ-Ug	5.8658901* (2.46)	-5.8347253*** (-6.93)	0.72824418*** (7.53)	-.02574973*** (-7.16)	0.07216096 (1.21)	0.13926315 (1.97)		84	0.966	0.338
RSKZ-Op	-7.420992*** (-7.04)	0.37069031*** (4.19)			-0.07812444 (-6.7)	-0.12034521 (-6.8)	-0.12002017 (-1.48)	53	0.583	0.257
ZBRDC-Ug	-0.52418008 (-.24)	-1.533874** (-3.22)	0.10537017*** (4.14)		0.12854305 (1.86)	0.0344311 (.49)		93	0.860	0.200
ZBRDC-Op	-6.6549277*** (-7.03)	0.30461511** (3.35)			0.09161111 (1.28)	-0.31150237* (-2.22)	-0.05751175*** (-4.59)	64	0.649	0.143

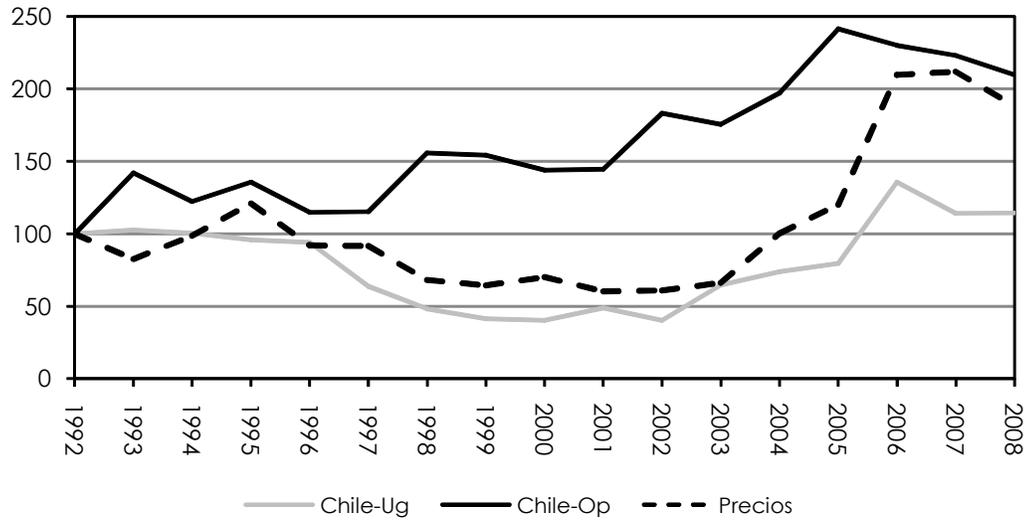
Nota: Valores (t) entre paréntesis. No se muestran los parámetros de las dummies anuales que recoge el efecto fijo temporal.

* Significativo al $p < 0.05$; ** Significativo al $p < 0.01$; *** Significativo al $p < 0.001$

ANEXO N°4: EVOLUCIÓN DE LAS RESERVAS EN CHILE

Según proceso productivo. Base 1992 = 100.

Período 1992 - 2008



Fuente : Elaboración Cochilco, a base de datos Brook Hunt.

**ANEXO N°5: TASA DE VARIACIÓN DE LOS SALARIOS REALES
EN MINERÍA DEL COBRE**

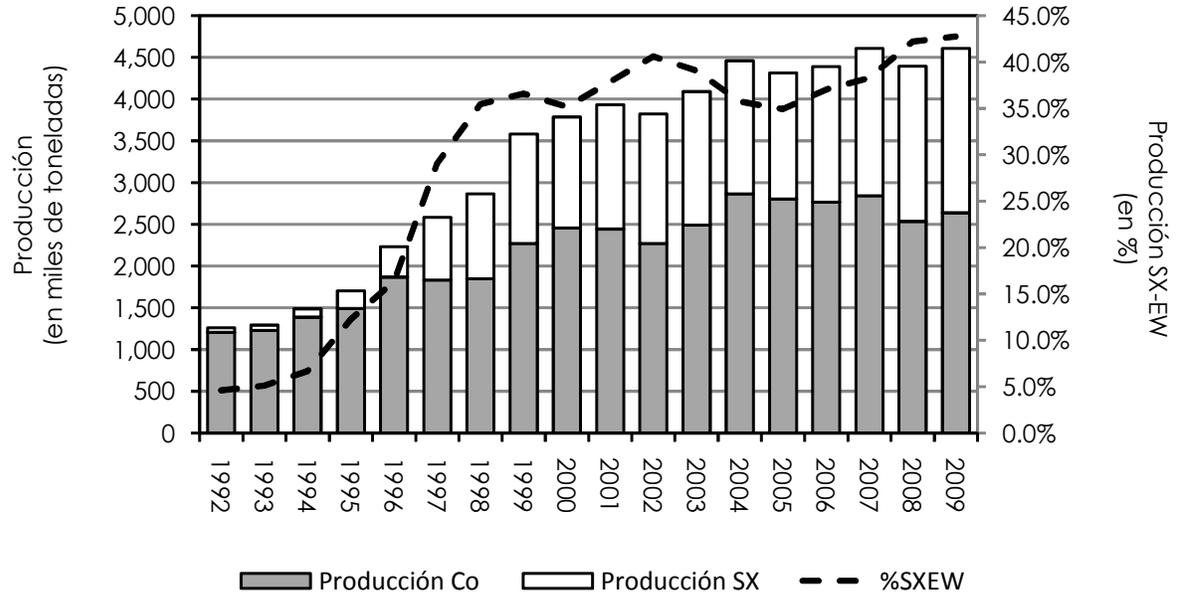
Países seleccionados. Período 1993 - 2008.

Período	Chile	USA	Peru	Australia	Canada
1993-1998	4.8%	2.9%	15.0%	0.0%	2.6%
1999-2003	-5.5%	0.9%	3.2%	4.9%	5.6%
2004-2008	13.1%	6.0%	12.8%	17.8%	11.7%
Var. Total	4.1%	3.1%	9.6%	7.6%	6.5%

Fuente : Elaboración Cochilco a base de datos Brook Hunt.

ANEXO N°6: EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN SX-EW EN CHILE

Período 1992 - 2009.



Fuente : Elaboración Cochilco a base de datos Brook Hunt.

**ANEXO N°7: APOORTE DE LA PRODUCCIÓN DE CODELCO A LA PRODUCCIÓN TOTAL
DE FAENAS SUBTERRÁNEAS**

Datos para Chile. Período 1992 - 2009.

Año	Producción Subterránea Codelco	Producción Subterránea Total	Razón Sub/Total
1992	430,400.88	558,931.63	77.0
1993	417,057.84	542,205.98	76.9
1994	433,672.21	551,861.62	78.6
1995	451,156.75	607,721.01	74.2
1996	481,307.98	642,314.86	74.9
1997	502,536.94	652,446.27	77.0
1998	518,228.33	643,017.55	80.6
1999	558,848.05	621,535.04	89.9
2000	590,278.95	649,359.09	90.9
2001	572,509.90	640,232.96	89.4
2002	526,512.64	583,132.09	90.3
2003	535,859.11	622,637.34	86.1
2004	622,704.33	726,355.08	85.7
2005	635,418.79	797,173.80	79.7
2006	626,499.72	757,922.16	82.7
2007	584,394.82	719,163.31	81.3
2008	612,433.54	768,702.43	79.7
2009	596,198.88	754,347.65	79.0

Fuente : Elaboración Cochilco a partir de base de datos Brook Hunt.

**Documento elaborado en la Dirección de Estudios y
Políticas Públicas por*:**

Patricio Pérez Oportus
Economista
Comisión Chilena del Cobre

José Joaquín Jara
Ingeniero Civil Minas
Comisión Chilena del Cobre

* Se agradecen los comentarios y sugerencias de Pablo Villalobos Dintrans, del Ministerio de Economía.