



Centro UC
CLAPES UC
Centro Latinoamericano de
Políticas Económicas y Sociales

Productividad Codelco

Hernán de Solminihaç

Luis E. Gonzales

Rodrigo Cerda

Documento de Trabajo N°22

4 enero 2016

www.clapesuc.cl

Productividad Codelco

Hernán de Solminihac, Luis E. Gonzales y Rodrigo Cerda

1.- Introducción

En el último tiempo, la minería en Chile ha aportado en promedio un 15% al producto total de la economía y un 60% a las exportaciones, llegando a representar un 20% de los ingresos fiscales. Esto ha transformado a la actividad minera en una de las principales industrias del país, que no sólo contribuye con recursos al crecimiento, sino que además ayuda a que sea reconocido y respetado en el mundo.

A pesar de este escenario, el sector enfrenta dificultades para continuar su desarrollo, algunas de ellas relacionadas con la actividad internacional y otras asociadas a la realidad local. Entre los principales desafíos, destacan una mayor preocupación por el cuidado del medio ambiente, la relación con las comunidades y la seguridad de los trabajadores. También el agotamiento natural de los recursos, los costos de energía, las nuevas fuentes de agua para la producción minera y la desalineación del crecimiento en la productividad y los costos salariales.

Los antecedentes expuestos motivaron al Centro Latinoamericano de Políticas Económicas y Sociales de la Universidad Católica (ClapesUC) a estudiar este tema en profundidad y a desarrollar dos indicadores sobre la productividad de la actividad minera en Chile, publicados en 2014 (De Solminihac, Gonzales y Cerda).

Dichos indicadores corresponden a la Productividad Total de los Factores (PTF), que es la contribución al crecimiento no explicado por la acumulación de Trabajo y Capital en la producción; y la Productividad Media o Productividad Laboral, que mide el aporte promedio de cada trabajador sobre el valor agregado de la actividad minera.

A continuación presentamos una nueva etapa del estudio de productividad minera, que consiste en un análisis específico de la productividad de Codelco y su comparación con el resto de la industria nacional.

Dado que Codelco es la principal empresa estatal de Chile y el mayor productor de cobre en el mundo, resulta importante hacer un estudio específico de ella.

Para la realización de este estudio, agradecemos la disposición de Codelco para entregarnos oportunamente la información necesaria, que complementados con la información del Banco Central, Cochilco, el Consejo Minero y Sernageomin, entre otras fuentes, permitió analizar y comparar la productividad de Codelco con el resto de la industria.

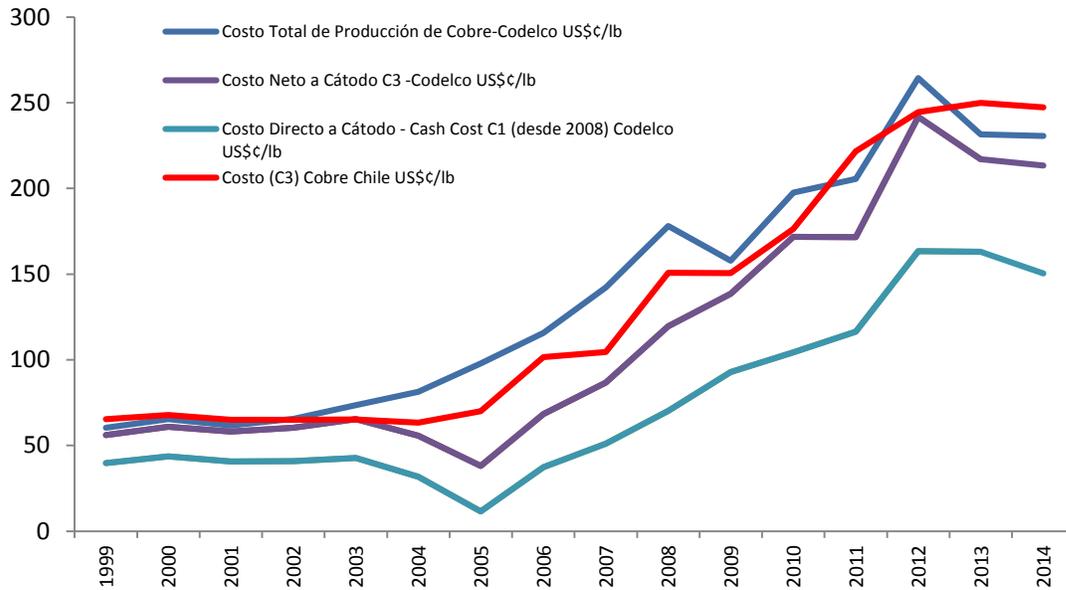
Esperamos que esta información sea de utilidad para Codelco, la industria y el Gobierno. Esto como un elemento más en la búsqueda de métodos, técnicas, procesos, normativas y políticas públicas, que permitan tener una empresa cada vez más competitiva y con ello lograr mayores recursos que permitan seguir con el desarrollo de Chile.

2.- Antecedentes

La industria de la minería del cobre ha visto aumentar el costo de producción sostenidamente desde el año 2005 (figura 1). Esto a nivel de costo total, considerando mano de obra, energía eléctrica, combustible, materiales, depreciación y servicios de terceros. También a nivel de costo neto a cátodos, donde se incluyen adicionalmente los créditos por subproductos (molibdeno, oro, plata y ácido sulfúrico), o de costo de imputación a cátodos, según corresponda.

De acuerdo a información provista por Codelco a 2015, se observa que el costo proyectado de producción total de cobre es US\$ c/lb 209, mientras que el costo neto a cátodo (C3) es de US\$ c/lb 202 y de US\$c/lb 140 para el costo directo a cátodo “cash cost” (C1).

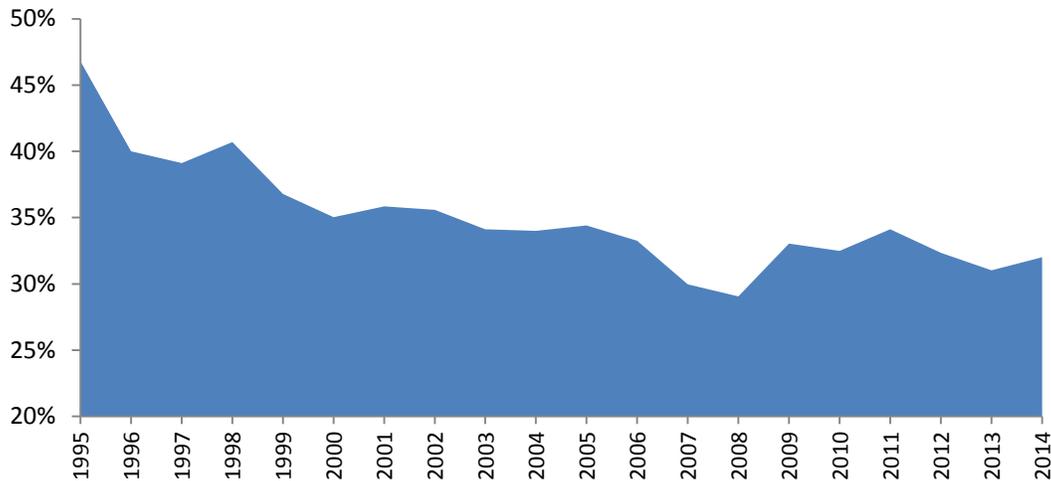
Figura N° 1 Costo de producción de Cobre Codelco y total Chile



Fuente: Elaboración propia en base a datos de Cochilco

Los costos que enfrenta Codelco han seguido la tendencia de los costos de la industria, es importante notar que los costos de Codelco han estado por encima de los costos de la industria hasta 2010, posteriormente se observa oscilaciones entre 2010 y 2011 y en los últimos 3 años se observa que Codelco pudo reducir sus costos en relación al de la industria. Sin embargo, al revisar la participación de Codelco (figura 2) en el total de producción de la industria, se aprecia que existe una disminución de su participación desde algo más de un 45% en 1995 a cerca de un 32% en 2014.

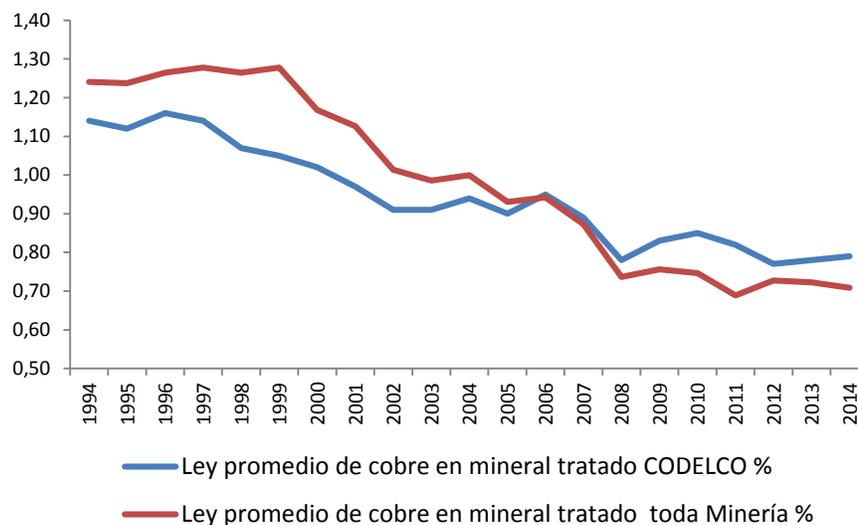
Figura N° 2 Participación de la producción del cobre de Codelco en la Industria



Fuente: Elaboración Propia en base a datos de Cochilco.

Otro indicador importante es la ley de cabeza, también conocida como ley de mineral, que corresponde a la concentración de minerales (oro, plata, cobre, estaño, etc.) obtenido de las rocas de una faena minera. En la figura 3, se observa que pese a la caída de la ley del mineral, Codelco ha logrado mantener su participación en el mercado nacional, lo que se ha logrado por el incremento del nivel de tratamiento en sus yacimientos, como también por la incorporación de los nuevos proyectos división tales como Gaby (2008) y Ministro Hales (2013).

Figura N° 3 Evolución de Leyes de mineral en Codelco y Chile



Fuente: Elaboración propia en base a datos de Cochilco.

Con este panorama, buscamos aplicar la metodología propuesta por De Solminihac, Gonzales y Cerda (2014) para entender la evolución de la productividad total de los factores de Codelco y generar una serie de tiempo para la PTF de Codelco. Para lograr este objetivo, a continuación describimos los datos disponibles.

Datos empleados

Variable	Definición	Fuente
Producción de Cobre	Producción propia de Cobre (sin % en El Abra ni Anglo A. Sur) en miles de TMF, observadas en el periodo 1990-2013.	Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO)
Stock de Capital de Codelco	Stock de Capital estimación propia en base a Habegger (1972), datos de inversión en activos fijos, producción de Codelco y series de depreciaciones para la minería de Cuentas Nacionales del Banco Central.	Elaboración propia en base a Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO) y Cuentas Nacionales (Banco Central de Chile)
Empleo Codelco	Personal propio o también llamado mandante (dotación a fin de año), para algunas sensibilidades se considera igualmente a Contratistas de Operación y contratistas de Inversiones. Para el dato correspondiente al resto de la minería se considera el informe del consejo minero "Minería en Cifras" de octubre de 2015, donde se presenta una separación del empleo Mandante y Propio de 2003-2013.	Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO), Consejo Minero y SERNAGEOMIN
Índice de Remuneraciones	Índice Nominal de Remuneraciones del personal propio de Codelco excluyendo de este grupo las vicepresidencias de proyectos.	CODELCO
Horas trabajadas	Número de horas trabajadas del personal propio de Codelco excluyendo de este grupo las vicepresidencias de proyectos.	CODELCO
Ley de Mineral Cobre obtenido por Codelco	Ley promedio de cobre en mineral tratado en % de Codelco.	Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO)
Consumo de Energía Eléctrica	Consumo de gigawatts por hora de Codelco (GWh) las cifras incluyen un ajuste para dar cuenta de los consumos que no están asociados a la producción de cada periodo (costos transferidos).	CODELCO
Consumo de Combustibles	El consumo directo de energía en Codelco corresponde a petróleo y sus derivados, gas natural y carbón, y el consumo indirecto se relaciona con la energía eléctrica utilizada, proveniente de los Sistemas Interconectado Central (SIC) y del Norte Grande (SING). Además, en las divisiones Chuquicamata, Salvador, Andina y Ventanas existe autogeneración de electricidad en menor escala para consumo propio, medidos en petajoules (PJ).	CODELCO

Una de las variables utilizadas para lograr estimar la PTF de Codelco, es la de stock de capital. Es de construcción propia y la metodología para obtenerla se explica a continuación.

Partimos por la idea descrita en Habegger (1972) sobre el enfoque de inventarios perpetuos. Para la estimación del capital inicial, se considera la relación de equilibrio entre el crecimiento de la producción y el de capital reflejado como:

$$K_t = \frac{I_t}{g_y + \delta}$$

El capital de estado estacionario K_t será igual a la inversión I_t de estado estacionario dividido por la tasa de crecimiento de la producción g_y más la tasa de depreciación δ . El capital inicial se calculó con el dato promedio de inversión más antigua disponible. Para ello se promediaron los años 1989 a 1994, tomando el dato de inversión en activo fijo a precios reales y asumiendo que la tasa de crecimiento de la producción física de tendencia es 3.8% y, a su vez, que la tasa de depreciación observada en la industria es 4.8%. Estos datos corresponden a los valores promedio entre 1996 y 2013. Para los siguientes años se utiliza la ecuación de movimiento de capital como se define a continuación:

$$K_{t+1} = (1 - \delta)K_t + I_t$$

3.- Cálculo de la Productividad

A continuación utilizamos la metodología de contabilidad del crecimiento, debido a su claridad y sencillez de aplicación, que para hacerla supone una función de producción neoclásica con capital y trabajo. Dicho enfoque relaciona el crecimiento económico con la acumulación de capital, asimismo el aporte de los trabajadores y el avance tecnológico. Esto último es conocido como “el residuo de Solow” y explica toda aquella parte del crecimiento que no es precisado por los factores Trabajo (L) y Capital (K).

Como la contribución de la PTF no es directamente observable, una estrategia de estimación es el cálculo residual de la contribución del PIB, por encima de los aportes del capital y trabajo, suponiendo que existen rendimientos constantes a escala y que los factores son remunerados en función al producto marginal.

Se supone una función de producción tipo Cobb-Douglas con rendimiento constantes a escala del tipo:

$$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha} \quad (1)$$

Donde A_t es la productividad total de factores, K_t es el stock de capital y L_t es el número de empleados. Entonces la tasa de crecimiento del producto será:

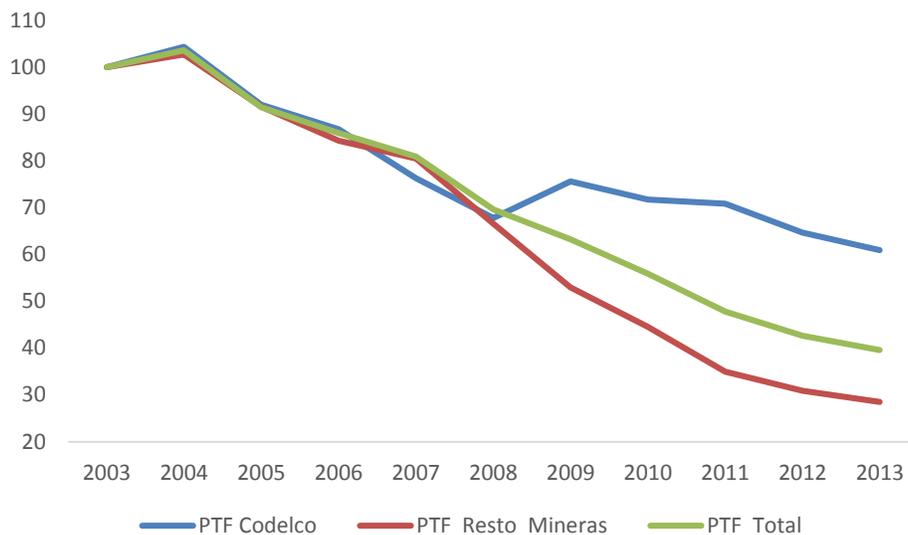
$$\Delta \ln Y_t = \Delta \ln A_t + \alpha \Delta \ln K_t + (1 - \alpha) \Delta \ln L_t \quad (2)$$

La tasa de crecimiento está expresada en diferencias logarítmicas, donde α es la participación del capital en el valor de la producción, $\Delta \ln Y_t$ es la tasa de crecimiento del producto, $\Delta \ln A_t$ la tasa de crecimiento de la PTF, $\Delta \ln K_t$ la tasa de crecimiento del capital y $\Delta \ln L_t$ la tasa de crecimiento del empleo. En muchos de los trabajos empíricos donde se utiliza esta metodología, se realizan correcciones a las medidas de capital y empleo, con el propósito de captar diferencias por intensidad de uso en los factores y mejoras en la calidad de estos. Algunas de las medidas que proponemos a continuación apuntan en ese sentido.

4.- Resultados PTF

Con los datos disponibles desde 2003, se observa en la figura 4 que la tendencia de la productividad es decreciente, tanto en la industria como en Codelco. Sin embargo, desde 2008 en adelante Codelco ha detenido la caída de productividad mientras la industria continúa con la misma tendencia a la baja en la PTF. No obstante, ahora nos interesa analizar las causas de la atenuación en la tendencia de la productividad de Codelco en relación al resto de la minería, desde 2008 hasta el fin del periodo. A continuación se analiza cada una de las variables que inciden en el indicador para explicar la evolución de la PTF.

**Figura N° 4 Productividad total de factores de Codelco y el resto de la minería
1990-2014**

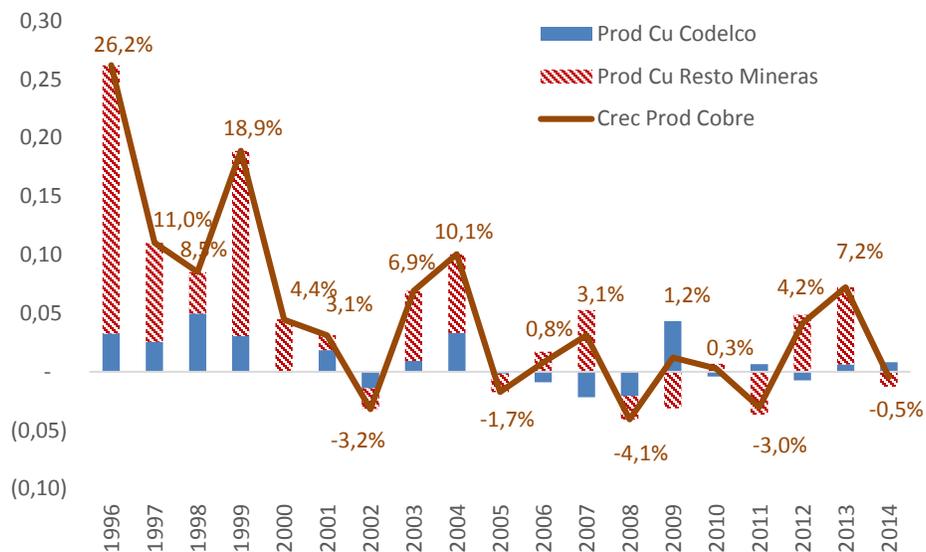


Entre 1996 y 2002, el crecimiento de la producción de cobre en la industria fue decreciente en general, pasando de una tasa promedio de un 15% en 1998 a una anual de 6% hasta 2001. Recién para 2002 el crecimiento fue negativo e igual a 3.2%. En tanto la producción de Codelco, de acuerdo a la composición del inicio de la serie, representa un 40%, mientras que en 2002 la participación en la producción bajó al 34%. En el periodo donde se produce el desacoplamiento de la productividad, a partir del año 2008, Codelco llega en este proceso a un 31% en promedio, cifra que se mantiene además hasta 2013.

Analizando la incidencia (ver figura 5), en relación al crecimiento ponderado por la participación en la producción total, Codelco explica un 20% en este ítem respecto a la industria entre 1996 y 2014. Por ejemplo, en 2009 la estatal explica un 57% del incremento en la producción de toda la minería.

En síntesis, el crecimiento entre 2003 y 2014 de Codelco fue de 3.1% en promedio, mientras que el resto de la minería solo alcanzó al 1.1%. De ahí que el crecimiento de la industria fuese de 1.6% para ese periodo.

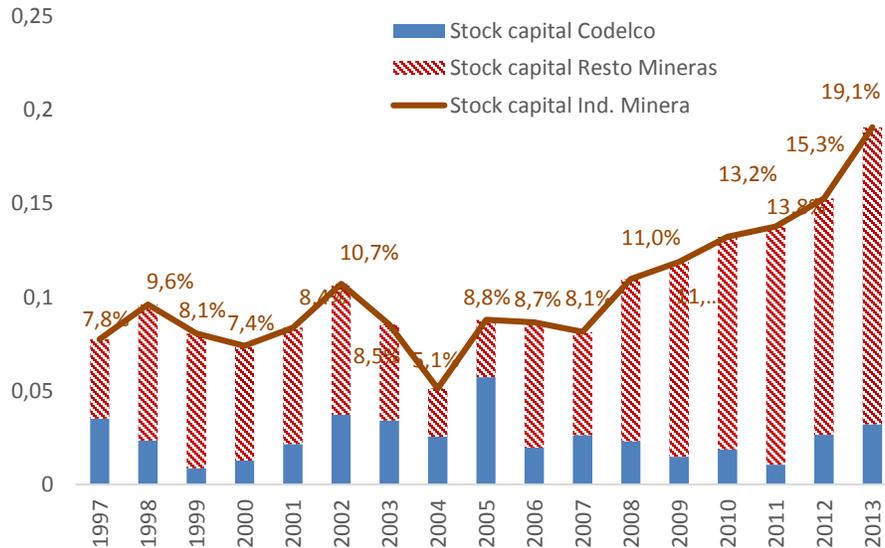
**Figura N° 5 Descomposición de la tasa de crecimiento de la producción de cobre
1996-2014**



Conocida la trayectoria de la producción de cobre, ahora nos interesa analizar qué ha ocurrido con los factores de producción, como el de capital y empleo. De acuerdo a nuestras estimaciones, en 1996 el stock de capital de Codelco representaba un 64.1% del total de la industria, mientras que en 2013 esta participación cae a 29.4%, algo similar al cambio de composición observado en la producción. Para toda la industria, el crecimiento del capital en todo el periodo fue de un 10.3% anual en promedio, registrándose una clara división a partir de 2004. Anterior a esta fecha, el crecimiento del capital fue de 8.2% y posteriormente pasó a promediar el 12.2%. Esta segunda fase se encuentra fuertemente correlacionada con el alza del precio del cobre.

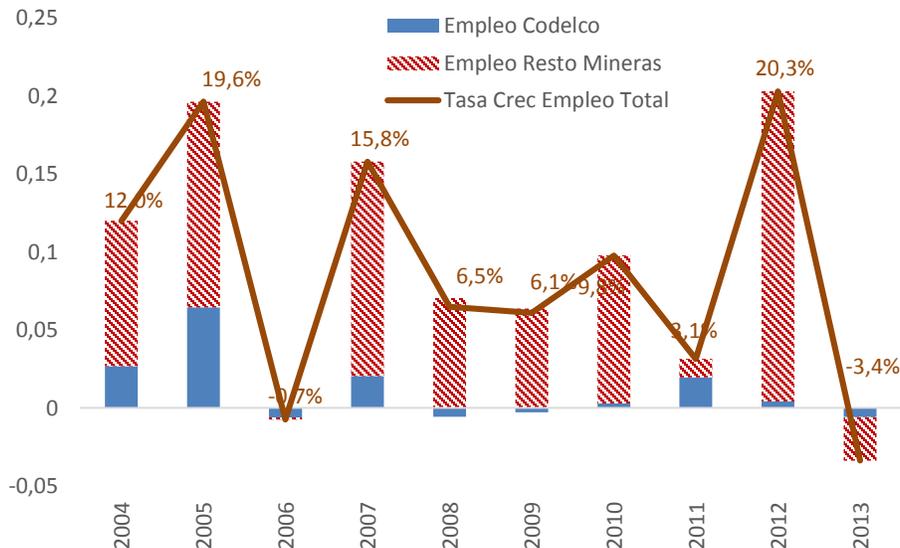
El crecimiento del stock de capital de Codelco explica un 24.7% de la tasa de crecimiento del capital en promedio para todo el periodo. Al analizar exclusivamente el periodo del desacople de la productividad total, entre 2008 y 2013, el aporte se reduce a 15% como se observa en la siguiente figura. Por lo tanto, a contar de 2008 el crecimiento del capital se desacelera para Codelco, aunque se mantiene relativamente alto para la industria.

Figura N° 6 Descomposición de la tasa de crecimiento del stock de capital 1997-2013



En el caso del empleo, debemos ser cuidadosos con su composición. Efectivamente, en la gran minería se establece la contratación directa de trabajadores, conocidos como “mandante”, y la contratación a terceros, “contratistas”, que en el caso de Codelco pueden ejecutar operaciones o materializar inversiones. Para el análisis de la productividad se agregó ambos tipos de empleo, bajo la lógica de que combinados participan en el proceso de extracción del mineral. Tomando como base los datos del Consejo Minero, correspondiente al periodo 2003-2013, y comparándolos con los de Codelco para las mismas categorías, se puede hacer el mismo ejercicio realizado para la producción y el capital, descomponiendo la tasa de crecimiento del empleo en la industria como se observa en la figura siguiente.

Figura N° 7 Descomposición de la tasa de crecimiento del empleo 1997-2013



En 2003, los trabajadores de Codelco representaban el 50% del campo laboral en la minería, mientras que en 2013 esta composición cambia llegando a representar sólo el 28.3%, lo que es consistente con lo registrado en capital y producción.

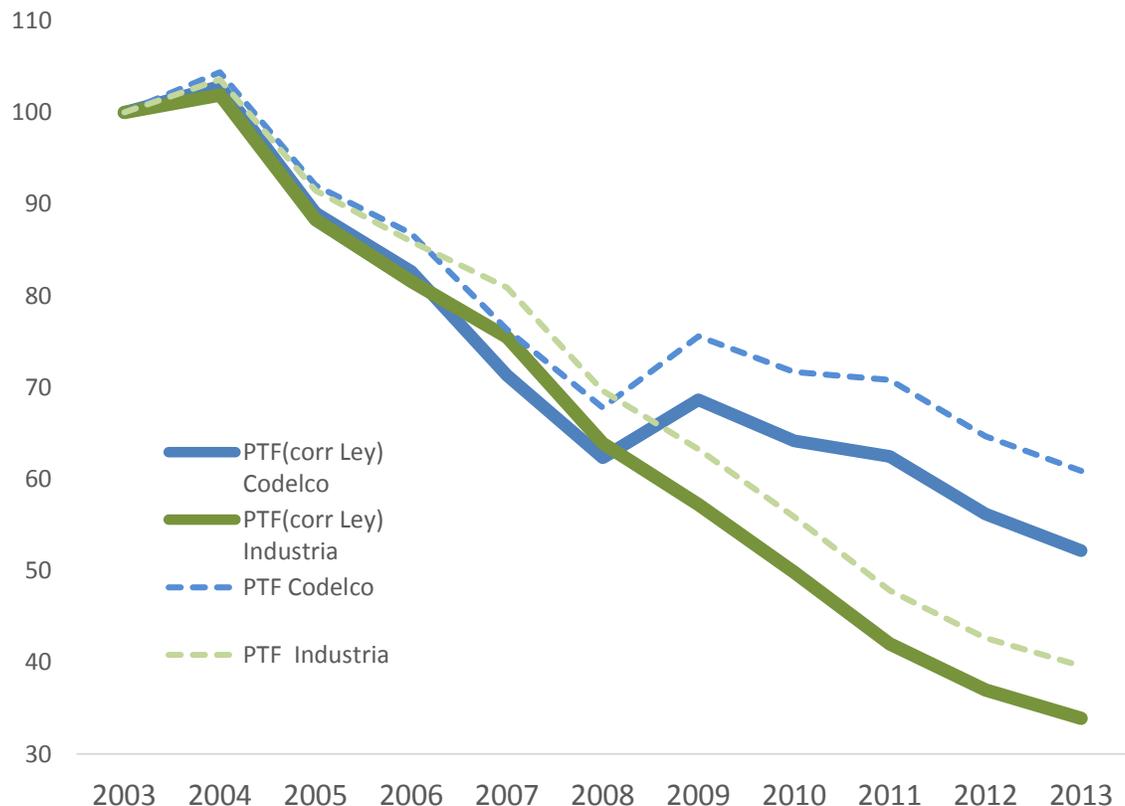
Lo más significativo en cuanto a la composición del empleo en la industria es que Codelco apenas explica un 11% del crecimiento promedio en esta área, desde 2006 hasta 2012. Sin embargo, en 2013 y como consecuencia de un deterioro de las condiciones de inversión principalmente, el empleo registra tasas negativas en toda la industria.

En conjunto y desde una perspectiva contable, el desacople de la productividad de Codelco con respecto a la industria se produce principalmente por una mayor tasa de crecimiento de la producción. También por un desarrollo igual al promedio histórico del aumento de capital y a una baja tasa de contratación de nuevos trabajadores en relación al fuerte incremento de personal del resto de la industria.

Productividad Total de Factores ajustada por ley de mineral

Un factor que posiblemente ha incidido en la productividad de Codelco y de la industria es la disminución en la ley del mineral. A continuación se ajustan los cálculos de PTF por la caída en la ley del mineral. Para este ejercicio se empleó la ley del mineral, para la industria en su conjunto (incluido Codelco) y la ley que reporta solamente la cuprífera estatal (ver figura 3). Además, para incluir la ley del mineral y corregir la medida de PTF, se siguió a De Solminihac, Gonzales y Cerda (2014), incluyendo la ley del mineral como un factor adicional en la función de producción. En la figura siguiente se compara el índice de productividad encontrado en la primera parte de esta sección (figura 4) con los resultados del ajuste por la ley del mineral.

**Figura N° 8 Productividad Total de Factores con ley como determinante de la producción
2003-2013**

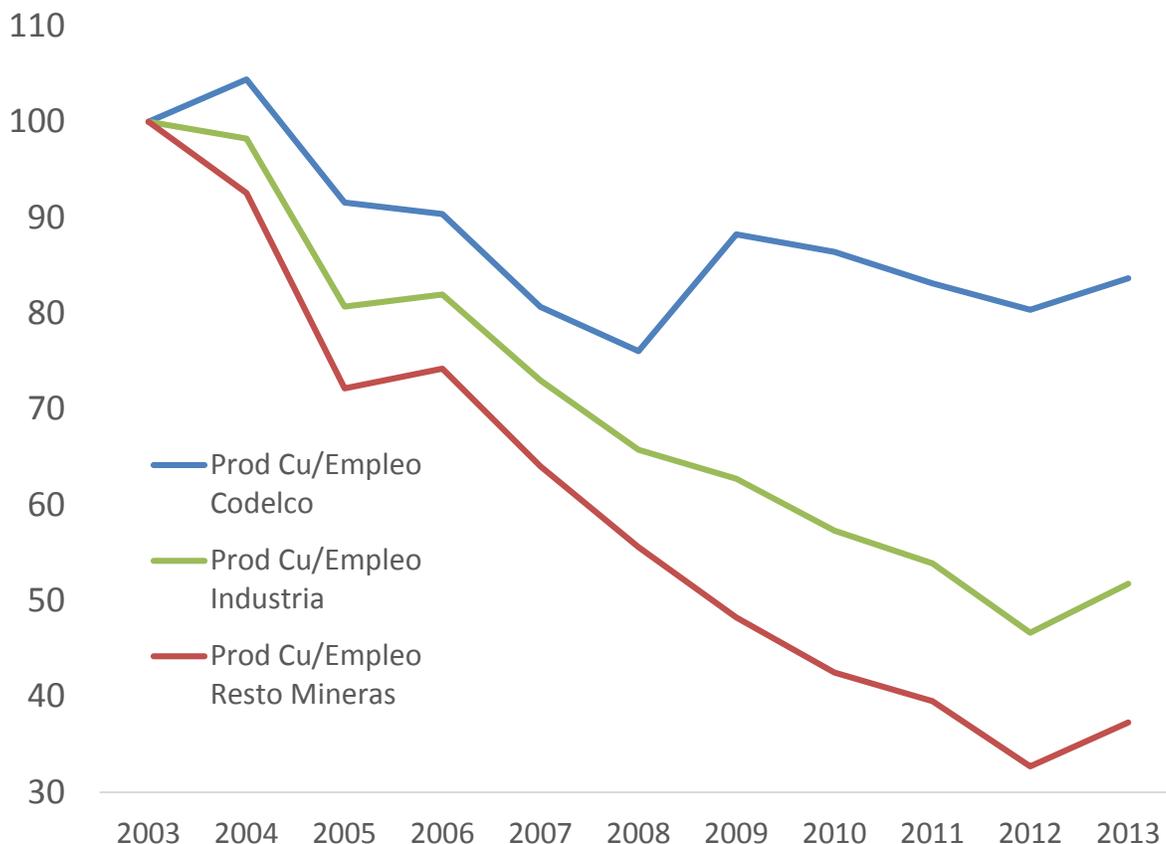


Aplicando como determinante de producción la ley del mineral, se observa que descontado el aporte de la ley del mineral en la productividad, la tendencia es decreciente. Al comparar la PTF con la medición de la PTF, considerando la ley del mineral como determinante de la producción, existe una diferencia entre ambos indicadores de 9.4% en promedio en todo el periodo, tanto para Codelco (9.3%) y la industria (9.5%).

5.- Resultados Productividad Laboral

En la siguiente figura se presenta un índice de comparación de la productividad laboral con año base 2003, que se obtiene del cociente de la producción en toneladas de cobre sobre el número de trabajadores (directos y contratistas). Las series reportadas en la siguiente figura corresponden a Codelco y a la industria.

**Figura N° 9 Productividad laboral de Codelco por tipo de empleo
2003-2013**



En función de las tres series expuestas durante el período 2003-2013, si bien se observa que la tendencia de la productividad es decreciente para Codelco (16.3%), al igual que el resto de la minería (62.7%), la industria en su conjunto, incluyendo la estatal, registra una disminución de 48.2%. Al igual que lo explicado anteriormente, el incremento en la producción en 2008, junto a una menor tasa de contratación de trabajadores, explica en gran parte el resultado de Codelco.

6.- Conclusiones y recomendaciones

Tomando en cuenta la producción física del cobre, el stock de capital y el aporte de los trabajadores (mandante y contratistas) se evidencia una caída de la productividad de 60.4% con respecto a 2003 en la industria. Este resultado se encuentra en el rango estimado por De Solminihac, Gonzales y Cerda (2014). La productividad de Codelco ha seguido la misma tendencia, acumulando una caída de 39.1%, mientras que el resto de la minería ha experimentado una baja de 71.5% en el mismo periodo.

En términos relativos, Codelco presenta desde 2008 una mejora en su productividad con respecto al resto de la minería y la industria en su conjunto, explicado principalmente por el significativo incremento de producción. También por el menor aumento de capital en comparación al sector y a la menor tasa de contratación de personal. Esto explica que el índice de productividad de la cuprífera estatal esté un 30% en promedio por encima del índice reportado para la industria.

De igual manera, al introducir la ley de mineral como uno de los determinantes de la producción de cobre, los indicadores PTF presentan una diferencia de 9.4% en promedio durante todo el periodo, tanto para Codelco (9.3%) y la industria (9.5%).

En términos generales, tanto la industria como Codelco al ser analizados bajo el mismo contexto han experimentado una disminución de la productividad considerable. Sin embargo, la estatal muestra un mejor comportamiento desde 2008 en adelante.

Dicho análisis se basa en Codelco como unidad única. De todos modos, es deseable realizar este estudio por divisiones de la minera considerando la evolución salarial y costos de producción de la empresa en relación con los de la industria, hecho permitiría observar la heterogeneidad entre las faenas al interior de la empresa y en relación con la industria. Este debe ser el siguiente paso en la investigación relativa a la productividad minera.

Referencias

Arellano J.P. (2012) Productividad en la minería Chilena, Productividad agregada y competitividad país, Notas de Estudio -CIEPLAN,

Betancour C. y J. Valverde (2013) Una mirada a la productividad del sector minero en Chile, Comisión Chilena del Cobre.

Bloem A., Dippelsman R. y N. Mehle (2001) Manual de cuentas nacionales trimestrales Conceptos, fuentes de datos y compilación, Fondo Monetario Internacional (FMI), Washington.

Bradley C. y A. Sharpe (2009) A detailed Analysis of the productivity performance of Mining in Canada, Centre for study of Living standards, Ontario –Canada

CEPAL (2000) Manual de cuentas Trimestrales, Oficina de Estadística de la Unión Europea (EUROSTAT) División de Estadísticas y Proyecciones Económicas.

Consejo Minero (2013) Gran minería de Chile: Desafíos de productividad Presentación en seminario.

Corbo V. y R. Gonzalez (2014), Productivity and Economic Growth in Chile, en Growth opportunities for Chile, Centro de Estudios Públicos (CEP)

Field S. y M. Franklin (2012), Multi-factor Productivity, Indicative Estimates to 2012 Office of national statistics UK.

De Solminihac, Gonzales y Cerda (2014). Desarrollo de Indicadores de Productividad de la Industria Minera en Chile, Ideas para el debate N°3, Centro Latinoamericano de Políticas Sociales y Económicas CLAPES UC.

Garcia P., Knights P. y J. Tilton (2001), Labor productivity and comparative advantage in mining: The copper industry in Chile, Resources Policy 27. Pág 97 -105.

Guerro S, Luengo R., Pozo P. y S. Rébora (2012), Nuevas series de Cuentas Nacionales encadenadas: Métodos y fuentes de estimación, Studies in economic statistics N°90.

Henriquez C. (2008), Stock de Capital en Chile (1985-2005): Metodología y Resultados Studies in economic statistics N°63

León JC (2014) Factores que afectan la Productividad en la Construcción Minera, Seminario Productividad en la Construcción de Grandes Proyectos Mineros, Corporación de Desarrollo Tecnológico CDT.

Newey WK, West KD (1994). "Automatic Lag Selection in Covariance Matrix Estimation." *Review of Economic Studies*, 61, 631–653.

Perez P., Jara J. y P.Villalobos (2009) Good deposits are not enough: Mining labor productivity analysis in the copper industry in Chile and Peru 1992–2009, en *Resources Policy* 35, 247–256.

Pesaran, Shin y Smith (2000) Structural analysis of vector error correction models with exogenous I(1) variables, *Journal of Econometrics* 97) 293 – 343

Rudnick H., Moreno R., Tapia H. y C. Torres (2007) Abastecimiento de gas Natural, Pontificia Universidad Católica de Chile Departamento de Ingeniería Eléctrica IEE3372 Mercado Eléctricos.

Syed A., Grafton Q y K. Kalirajan (2013) Productivity in the Australian Mining Sector, Bureau of Resources and Energy Economics, Australian Government

Sipson M., Aravena E. y J. Derverell (2014), The future of Mining in Chile, CSIRO

Solow (1956), A Contribution to the Theory of Economic Growth, en *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 70, No. 1. (Feb., 1956), pp. 65-94

Tilton J. (2001), Labor productivity, costs, and mine survival during a recession, *Resources Policy* 27. Pág 107-117.

Topp V., Soames L., Parham D. y H. Bloch (2008) Productivity in the Mining Industry: Measurement and Interpretation Productivity Commission Staff Working Paper.

Universidad Adolfo Ibáñez – UAI (2014) Evolución de la Productividad Total de Factores en Chile.