



Comisión Chilena del Cobre
Dirección de Estudios

**UNA MIRADA A LA PRODUCTIVIDAD DEL SECTOR
MINERO EN CHILE
DE / X / 2013**

Contenido

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. DEFINICIONES Y RELEVANCIA	5
2.1. ¿Qué es la Productividad?	5
2.2 Importancia de la Productividad.....	7
3. PRODUCTIVIDAD EN LA MINERÍA	8
3.1 Marco Teórico.....	8
3.2 Productividad Laboral en la Minería.....	10
3.3 Productividad Total de Factores (PTF) en la Minería	19
4. CONCLUSIONES.....	25
BIBLIOGRAFÍA.....	29

RESUMEN

El presente estudio aborda la productividad en la minería chilena desde una perspectiva teórica, con el fin de establecer un marco conceptual para el análisis de este tópico, y empírica para poder medir cuantitativamente su evolución durante el periodo de estudio.

El valor agregado a la literatura de este artículo radica en el cálculo acucioso de distintas medidas de productividad, tales como la productividad laboral y la productividad total de factores, las cuales fueron corregidas mediante la incorporación del factor geológico, a través de una corrección por ley del mineral y por intensidad de uso de energía.

Sin embargo, el mayor aporte del estudio consiste en entender que la caída de productividad en un sector extractivo como éste es algo natural e inevitable (*ceteris paribus*), esto debido a la presencia de rendimientos decrecientes a escala asociado al recurso natural no renovable. Con esto se desprende que el foco de las políticas públicas debiese estar centralizado en explicar la descomposición de la merma de productividad y proponer políticas que permitan la compensación de ésta.

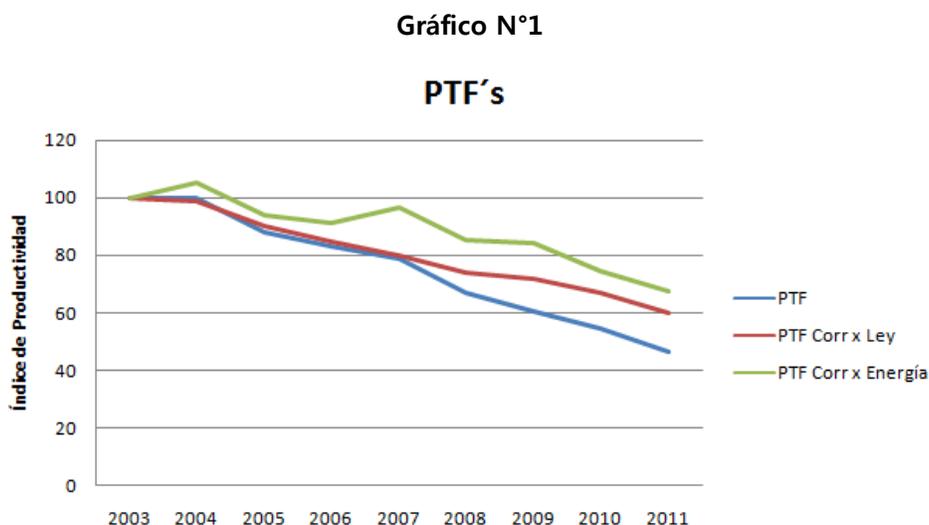
Dentro de los principales resultados encontramos que la minería presenta un liderazgo en términos de productividad laboral en relación a los demás sectores de la economía. Sin embargo, esta productividad presenta una tendencia descendente en el tiempo, con la consiguiente pérdida del primer lugar a manos del sector electricidad, gas y agua el año 2012.

Al profundizar sobre la merma en productividad de la minería, encontramos que ésta había caído alrededor de un 50% con respecto al valor que mostraba el año 2003. Cifra que resultó consistente independiente de la forma en que se midiera.

Pero sin lugar a dudas la mayor contribución de este estudio es lograr cuantificar cuánto de la merma en productividad se explica por la caída en la ley del mineral. De este modo se obtiene que entre un 26% y un 33% de la menor productividad que presenta la minería con respecto al año 2003 es producto del factor geológico medido como la ley del mineral.

Por su parte, cuando la corrección del factor geológico se realiza usando la energía como proxy se obtiene que entre un 39% y un 46% de la menor productividad de la minería con respecto al año 2003 se debe en la caída del factor geológico como insumo productivo.

A modo de síntesis, el gráfico N°1 muestra todas las relaciones anteriormente esbozadas, permitiendo un análisis comparativo entre las distintas medidas.



Fuente: Elaboración propia en base a datos del BCCh, Sernageomin y Cochilco.

1. INTRODUCCIÓN

No cabe duda que el auge de la minería en la última década, impulsado principalmente por el alto precio del cobre, ha sido el motor de la economía chilena, contribuyendo de forma importante al desarrollo del país mediante la generación de divisas a partir de las exportaciones de cobre, la materialización de inversiones en activos fijos y el aporte a las arcas fiscales a través de los tributos.

Sabido es que la minería ha representado durante la última década un 59% de las exportaciones del país, un 15% del producto interno bruto y que un 20% de la recaudación fiscal proviene de ésta. Pero, poco se sabe de cómo ha evolucionado la productividad en la minería, asumiéndose coloquialmente que el "boom" en el precio del cobre es sinónimo de mayor productividad en la industria.

A mediados de los 2000s, con un precio del cobre que batía records año a año, un fisco que aumentaba su recaudación gracias a esto y a una nueva ley de royalty, la productividad no era un tema interesante de abordar para la industria. Sin embargo hoy, con costos de insumos que han aumentado exponencialmente durante los últimos años, haciendo reducir los márgenes de las compañías y por lo tanto la recaudación fiscal, la productividad es un tema relevante y una de las variables centrales para mejorar los índices de competitividad de la industria nacional.

El presente estudio se estructura en cuatro capítulos, incluyendo esta introducción. La sección II establece el marco conceptual y por qué la productividad es importante. Luego, la sección III profundiza sobre la medición de la productividad, pero ahora desde la particularidad del sector minero, obteniéndose así distintas medidas para la industria chilena que consideran su estructura microeconómica y la totalidad de los factores productivos inmersos en esta actividad¹. Finalmente, la sección IV presenta las principales conclusiones que se desprenden de los resultados obtenidos.

2. DEFINICIONES Y RELEVANCIA

2.1. ¿Qué es la Productividad?

La definición más genérica expone que productividad es el ratio entre la producción de un bien, de un sector o de la economía en su conjunto, y la cantidad de uno o más insumos utilizados para su producción.

De esta forma, las medidas clásicas de productividad se desprenden de la teoría de la firma, específicamente de la función testada por Cobb y Douglas (1928) que posteriormente Solow (1956) utilizaría como pieza angular de su modelo de crecimiento económico y del modelamiento realizado por Jorgenson (1967), donde la cantidad producida de un bien está determinada por sus factores

¹ Como principal innovación de este estudio, e incorpora la ley del mineral como proxy del factor geológico.

productivos, por lo general capital y trabajo, además de un residuo considerado exógeno (A) que es lo que se conoce como la productividad total de factores (PTF). Matemáticamente:

$$(1) \text{ Cobb-Douglas: } Y = A \cdot F(K, L) = A \cdot K^\alpha \cdot L^{1-\alpha}$$

$$(2) \text{ Productividad Laboral: } \frac{Y}{L} = \frac{A \cdot F(K, L)}{L} = A \cdot \left(\frac{K}{L}\right)^\alpha$$

$$(3) \text{ Productividad del Capital: } \frac{Y}{K} = \frac{A \cdot F(K, L)}{K} = A \cdot \left(\frac{L}{K}\right)^\alpha$$

$$(4) \text{ PTF: } \frac{Y}{L^{1-\alpha} \cdot K^\alpha} = \frac{A \cdot F(K, L)}{L^{1-\alpha} \cdot K^\alpha} = A$$

La ecuación (1) también se puede expresar como:

$$(5) w_i \cdot \Delta \log(I) + w_c \cdot \Delta \log(C) = w_k \cdot \Delta \log(K) + w_l \cdot \Delta \log(L) + \Delta \log(A)^2$$

Es decir, la producción agregada consiste en bienes de inversión (I) y bienes de consumo (C), los cuales se producen utilizando como insumos servicios de capital y trabajo.

Los supuestos detrás de ambas formulaciones, (1) y (5), establecen la existencia de mercados perfectamente competitivos y retornos constantes a escala en la producción, lo cual significa que el crecimiento del producto es proporcional al crecimiento de los factores productivos:

$$(6) w_i + w_c = w_k + w_l = 1$$

De lo anterior se desprende que medidas que consideran sólo uno de los insumos utilizados para la producción, son función directa del ratio entre insumos. En otras palabras, que cuando medimos la productividad laboral o la productividad del capital ésta dependerá directamente de cuán intensivo en capital o mano de obra sea la economía o el sector en cuestión. Este tipo de medidas se pueden leer como cuán eficiente está siendo el trabajo o el capital en la producción, pero olvidan que son función de la dotación del otro insumo.

Adicionalmente, es posible observar que en la ecuación (4), donde se controla por ambos insumos, el ratio entre la producción y los factores productivos es función directa de "la medida de nuestra

² A diferencia de la ecuación (1) se descompone el producto, además de linealizar la ecuación y sacar primeras diferencias para capturar el cambio porcentual en las variables.

ignorancia". Es decir, que todo el crecimiento de la producción que no es explicado por la acumulación de factores productivos se explica por un parámetro "A", del cual no conocemos su composición ("medida de nuestra ignorancia"), pero que incorpora una serie de elementos que pueden considerarse como la eficiencia productiva de la industria. Dentro de estos factores encontramos la tecnología de la industria, la eficiencia con la cual se utilizan los factores productivos, las economías de escala existentes, los insumos omitidos, la asignación de recursos, etc.

2.2 Importancia de la Productividad

"La productividad no lo es todo, pero en el largo plazo es casi todo" Paul Krugman³. Con esta afirmación Krugman explica de buena forma la importancia de la productividad, ya que en ella deja entrever que si bien en el corto plazo existen factores relevantes en el crecimiento económico de un país, principalmente la acumulación de factores productivos, en el largo plazo la productividad es prácticamente el único factor que puede mover la frontera de posibilidades de producción. Visto desde la función de producción, lo que plantea Krugman es que en el largo plazo el factor preponderante para aumentar la producción es la tecnología, la eficiencia en la transformación de los insumos en productos y las economías de escala, entre otras variables, todas las cuales se encuentran inmersas dentro de "A". Es interesante notar que los ratios de productividad son simples construcciones estadísticas que en algunos casos llegan a ser un tanto abstractas (ejemplo: PTF). Lo relevante con respecto a la productividad es la serie de variables económicas con las cuales está relacionada, destacando el crecimiento económico, el ingreso real per cápita y la inflación, es decir, incide directamente sobre la política monetaria y la política fiscal, lo cual se traspasa directamente al gasto del estado en prestaciones y al bienestar de las personas.

³ Premio Nobel de Economía.

Las definiciones y explicaciones entregadas anteriormente constituyen un marco general para el estudio de la productividad en la economía, sin embargo, si se quiere profundizar en ciertos sectores específicos de la economía, es necesario considerar las características particulares de éstos.

Dado lo anterior en la siguiente sección se analizará cuáles son las deficiencias de este marco teórico general para abordar la productividad en la minería. Así mismo, se plantearán las posibles correcciones para su adecuado cálculo.

3. PRODUCTIVIDAD EN LA MINERÍA

3.1 Marco Teórico

La minería es una actividad económica primaria que basa su funcionamiento en la dotación y extracción de los recursos naturales provenientes de la corteza terrestre.

De esto se desprende que la minería tiene como uno de sus insumos principales el recurso geológico, factor que no se considera en el cálculo convencional de la productividad y que tiene por ende un efecto distorsionador en cualquier cálculo de productividad que no lo considere. De esta forma, los cambios en la calidad del factor geológico quedan incorporados en la PTF, invalidando cualquier análisis de productividad que se haga a partir de ésta.

Esta particularidad del sector minero lleva a proponer una función de producción ampliada, lo cual bajo otros supuestos podría considerarse un modelo de crecimiento de Solow aumentado. Esta nueva formulación quedaría expresada por:

$$(7) \text{ Cobb-Douglas ampliada: } Y = A \cdot F(K, L, G) = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta} \cdot G^{1-\alpha-\beta}$$

Linealizando la ecuación (7) y restando el aporte de los factores productivos, obtenemos la PTF corregida por el efecto del factor geológico, logrando una medida insesgada⁴ de la eficiencia productiva.

$$(8) \text{ PTF corregida: } \log(Y) - \alpha \cdot \log(K) - \beta \cdot \log(L) - (1 - \alpha - \beta) \cdot \log(G) = A$$

⁴ El término "insesgada" hace referencia a que no considera factores productivos dentro del término de eficiencia.

Sin embargo, este cálculo posee gran complejidad, dado que las reservas de minerales no son fácilmente cuantificables (en estricto rigor el precio del mineral antes de ser extraído es \$0), por lo cual incorporar la corrección por el factor geológico no es viable directamente.

Dada la dificultad de valorizar el recurso natural, los investigadores han optado por buscar variables proxy para cuantificar el factor geológico y los cambios en la calidad de éste.

Así, una de las técnicas más utilizadas ha sido tratar el gasto en exploración como parte del capital, con lo cual los recursos naturales estarían implícitamente incorporados en la serie de capital. Sin embargo, esta opción no es del todo fiable ya que no considera dos hechos relevantes. Primero, esta técnica no corrige por cantidad y calidad del recurso natural, ya que asume retornos constantes entre la cantidad-calidad del mineral extraído y cada peso gastado en exploración a través del tiempo. Y segundo, no considera el rezago existente entre la ejecución del gasto en exploración y cuando se descubre el mineral, lo que genera distorsiones en la contabilidad del crecimiento ya que se están mezclando insumos de distintos periodos de tiempo para explicar la producción de un año determinado.

Otro enfoque es el que siguieron Lasserre y Ouellette (1998) quienes incorporan directamente en la función de producción el factor geológico, tal como se plantea en la ecuación (7) y (8), pero medido como la ley del mineral, la cual reflejaría los cambios en la calidad del mineral. Por su parte Wedge (1973) utilizó las leyes del mineral para generar un índice que cuantificara los saltos en la productividad versus las variaciones en la ley, estableciendo así un orden de magnitud entre las variables. Recientemente Syed, Grafton y Kalirajan (2013) abordan la merma en el factor geológico usando como proxy de tal agotamiento el aumento del consumo energético en la minería.

Considerando este marco bibliográfico, se optó por seguir dos caminos en forma paralela: 1. Generar un índice de leyes que reflejase el aporte del recurso mineral a la producción corriente, con el fin de corregir el valor agregado de la minería por el factor geológico y así poder cuantificar cuanto de las variaciones en productividad se debe a variaciones en la calidad y cantidad del mineral, y 2. Usar el consumo energético en minería como proxy del factor geológico, ya que captura las caídas en leyes, las

mayores distancias al profundizarse los yacimientos, las mayores durezas de las rocas y la mayoría de los procesos que van siendo más intensivos en energía.

3.2 Productividad Laboral en la Minería

La productividad laboral no es más que el valor agregado o PIB dividido por la cantidad de trabajadores u horas empleadas, es decir, el producto medio por trabajador. Dada la simplicidad de su cálculo es la primera medida que se utiliza para tener una noción de productividad y probablemente sea el indicador más utilizado para este fin.

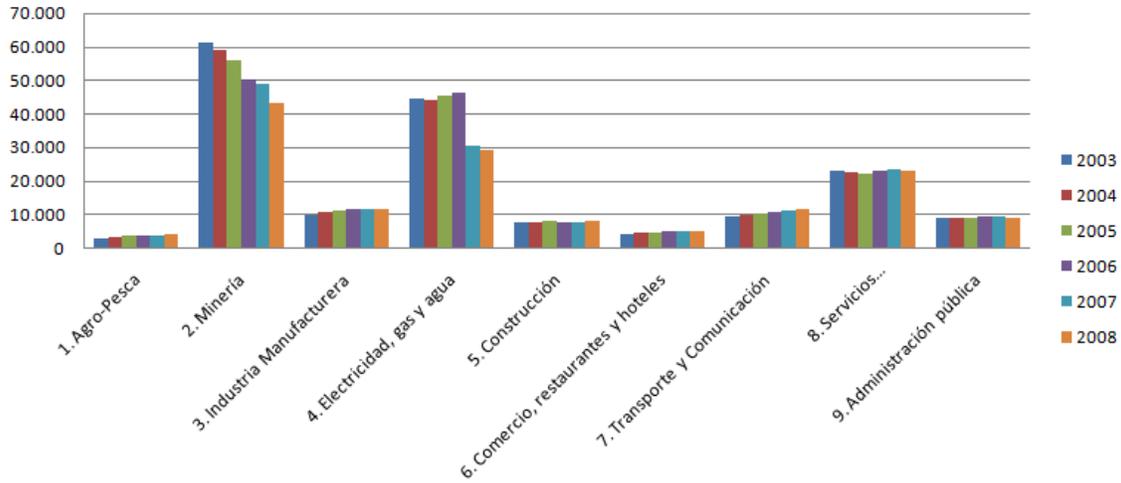
Si bien, la productividad laboral nos permite tener una medida estándar para poder comparar la productividad entre países y sectores, esconde el aporte del capital en cada sector, sobrevalorando la productividad de los sectores intensivos en capital. Este hecho es relevante para el caso de la minería, ya que al ser este un sector altamente intensivo en capital (pocos trabajadores) la productividad laboral es bastante más alta que el promedio de la economía.

Lo anterior queda ilustrado de mejor forma en los gráficos N°2 y N°3, donde se compara la productividad laboral de los distintos sectores de la economía y cómo éstos han evolucionado⁵:

⁵ La productividad laboral sectorial se divide en los periodos 2003-2008 y 2010-2012 debido a la no homologación de los trabajadores tras el cambio metodológico en su contabilización.

Gráfico N°2

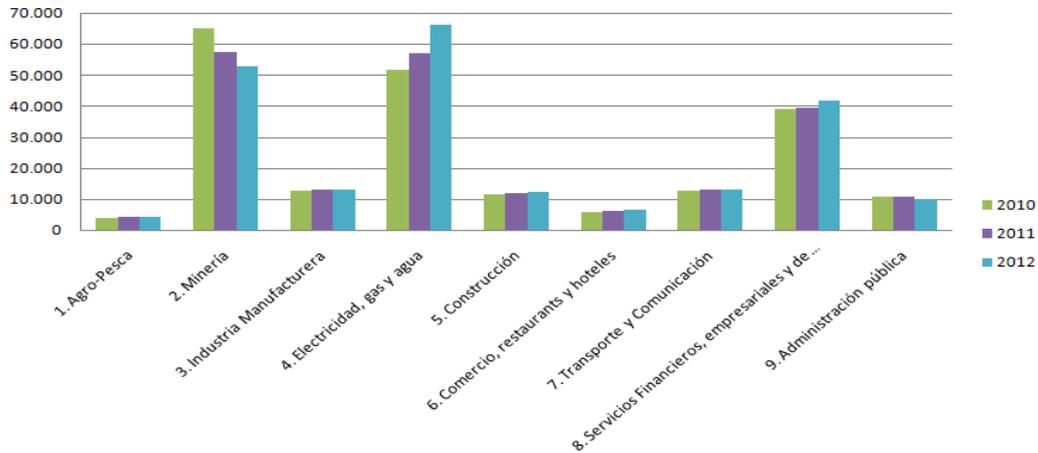
Evolución de la Productividad Laboral por Sector 2003-2008



Fuente: Elaboración propia en base a datos del BCCh y el INE.

Gráfico N°3

Evolución de la Productividad Laboral por Sector 2010-2011



Fuente: Elaboración propia en base a datos del BCCh y el INE.

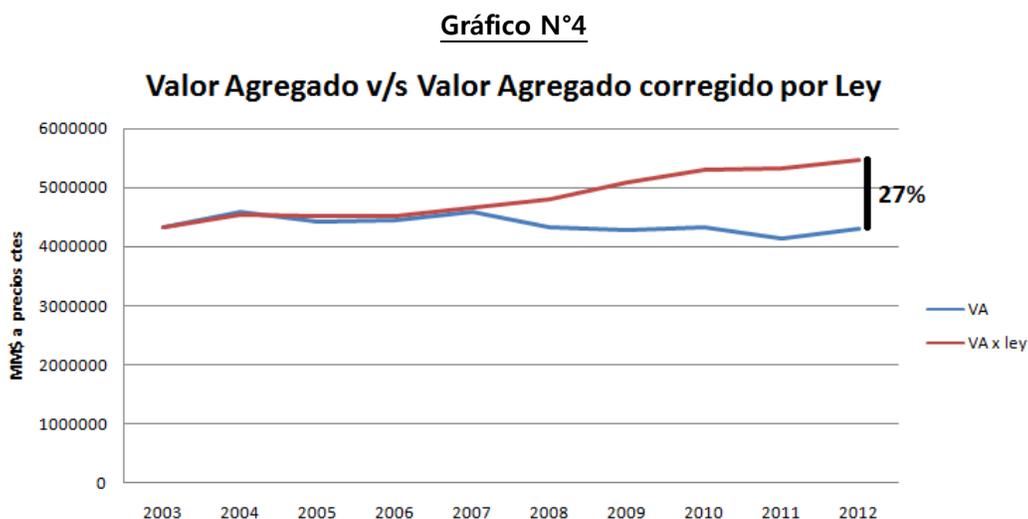
Así podemos ver que productividad laboral en la minería es la más alta de toda la economía, salvo el año 2012 donde es superada por el sector Electricidad, Gas y Agua, y que su tendencia desde el 2003 es decreciente. Es interesante notar también que durante los últimos tres años la minería ha sido la única actividad que ha disminuido, mientras que el resto de los sectores han mantenido o mejorado su desempeño.

Los gráficos anteriores también evidencian la sobrevaloración de la productividad cuando esta se mide como unidad de producto por trabajador en los sectores intensivos en capital. Así podemos ver que los sectores de Minería, EGA y Servicios Financieros presentan productividades que son más del doble que las de los otros sectores.

Productividad Laboral incorporando el factor geológico

Ahora bien, como sabemos del marco teórico sobre la productividad en la minería, no considerar el factor geológico y sus variaciones a través del tiempo conlleva a un sesgo en la estimación de cualquier medida de productividad.

Por lo tanto, con el fin de obtener una medida de la productividad laboral en la minería que contemple las variaciones en el factor geológico, se utilizó en primer lugar el vector de leyes del mineral para corregir el valor agregado según las variaciones experimentadas por dicha ley. Esta corrección se ilustra de forma clara en el gráfico N°4, donde el valor agregado pasa de tener una tendencia negativa a una positiva.



Fuente: Elaboración propia en base a datos del BCCh y Cochilco.

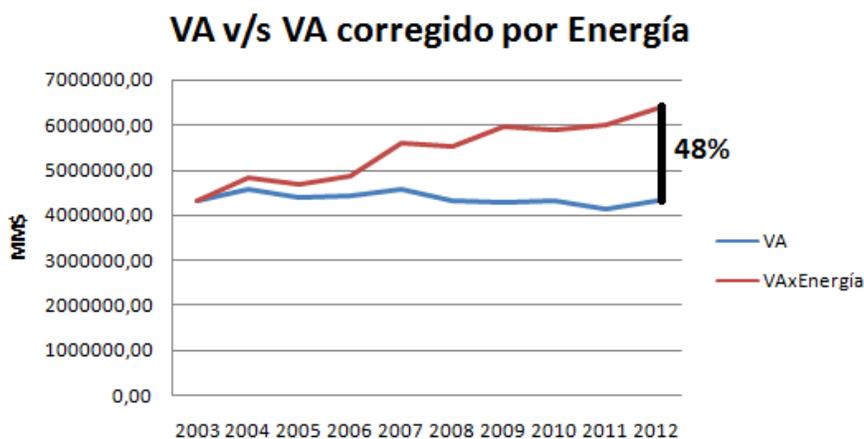
El gráfico N°4 muestra que el valor agregado de la minería se mantuvo prácticamente constante entre el año 2003 y 2012, sin embargo al corregir por las variaciones en la calidad del factor geológico (ley)

experimenta un aumento real del 27%, lo cual está en línea con lo esperado al considerar la caída progresiva de la ley del mineral en los últimos años.

Es interesante notar también que hasta el año 2007 no existe mayor diferencia entre ambas medidas de valor agregado, sin embargo, a partir de este año las medidas comienzan a divergir, es decir, la ley comienza a ser un factor importante en la determinación de la producción en minería. Este hecho es bastante lógico desde una perspectiva minera, dado que el boom de precios del cobre que se inicia el 2004 les permite a las compañías procesar rentablemente mineral que antes hubiese sido estéril, lo cual baja las leyes de corte impactando así a la producción.

Luego, siguiendo el mismo objetivo perseguido al corregir por ley, se procedió a corregir el valor agregado por la utilización de energía en la minería, dado que mayor uso de energía a producción relativamente constante explicaría variables como: baja de la ley del mineral, yacimientos más profundos, mayor dureza de roca, entre otras variables relacionadas al factor mineral. Los resultados de este ajuste se muestran en el gráfico N°5.

Gráfico N°5



Fuente: Elaboración propia en base a datos del BCCh y Cochilco.

Del gráfico N°5 se desprende que al corregir el valor agregado por energía, como proxy del factor geológico, éste sería un 48% superior al valor agregado sin corregir.

Cuando comparamos este resultado con el obtenido al corregir por ley observamos que el valor agregado corregido por energía es un 21% superior, lo cual reflejaría aquellos ítems que la ley no captura (distancias de traslados, dureza de la roca, etc.)

Conocida la evolución del valor agregado y realizadas las correcciones pertinentes, es necesario saber cuál ha sido la evolución del trabajo en el sector para así poder calcular la productividad laboral.

El gráfico N°6 muestra la evolución de las horas trabajadas en minería⁶, destacándose una fuerte tendencia positiva en el tiempo que se traduce en que las horas trabajadas el año 2012 son el doble de las trabajadas el 2003.



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Sernameomin.

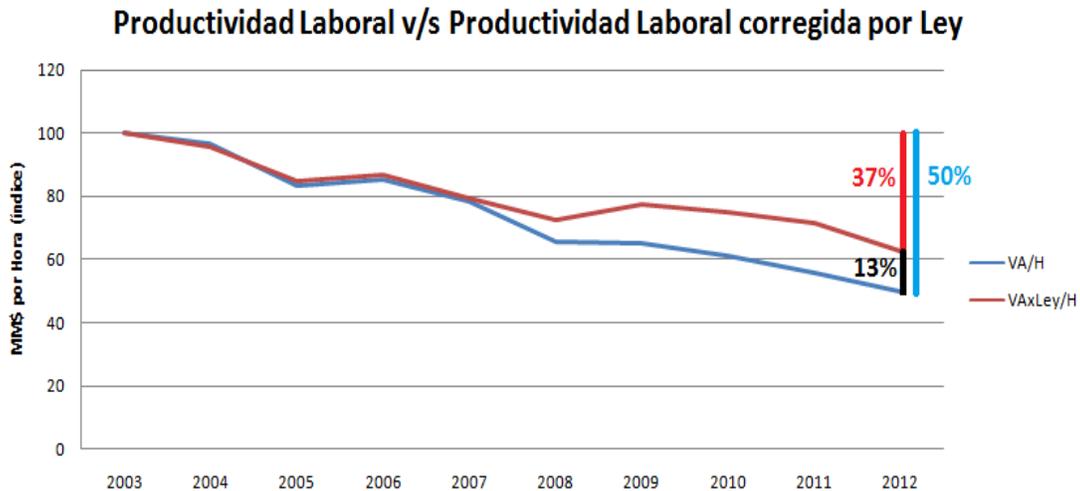
Luego, al computar el índice valor agregado corregido por ley – horas trabajadas obtenemos la productividad laboral, la cual a priori sabemos que es descendiente en el tiempo, ya que como se establece en los tres gráficos precedentes, mientras el valor agregado el 2012 es un 27% y un 48% mayor al valor agregado el 2003 al corregir por ley y por energía respectivamente, las horas trabajadas el 2012 son un 100% mayor a las horas trabajadas el 2003.

⁶ Como medida del trabajo se utilizarán las horas trabajadas, ya que es una medida más exacta de este factor.

Si no se corrigiera por ley, la tendencia de la productividad laboral sería aún más negativa ya que el valor agregado el año 2012 es prácticamente igual al del 2003, es decir el aumento del valor agregado es 0% mientras que el aumento de horas trabajadas corresponde a un 100%. Visto de otra forma, los trabajadores aumentaron al doble pero la producción se mantuvo constante.

Los escenarios anteriormente mencionados se encuentran reflejados en el gráfico N°7 donde se exhibe la evolución de la productividad laboral con y sin corregir por ley, y en el gráfico N°8 donde se muestra la productividad laboral con y sin corregir por energía, pudiendo de esta forma cuantificar cuanto de la merma en productividad se debe al factor geológico per se y cuanto a otros factores.

Gráfico N°7



Fuente: Elaboración propia en base a datos del BCCh, Cochilco y Sernageomin.

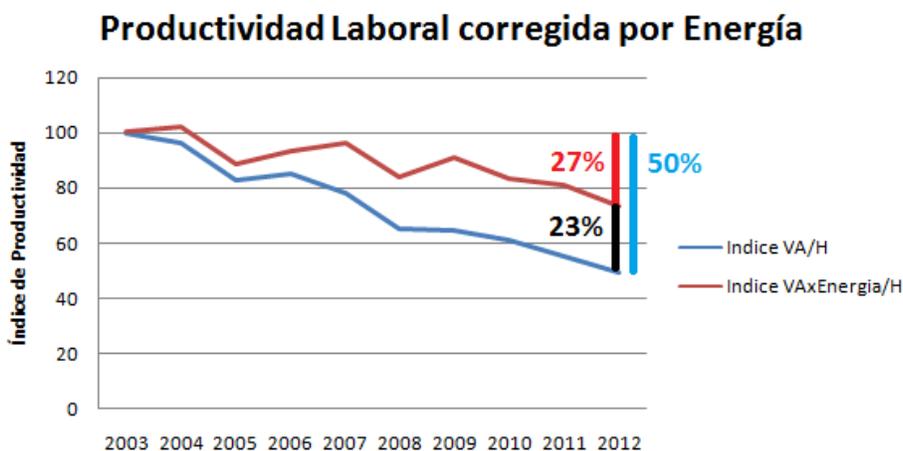
Del gráfico N°7 se desprende que:

- El año 2012 la productividad laboral sin corregir por la ley del mineral es un 50% menor a la evidenciada el año 2003. Sin embargo, al controlar por la ley del mineral la productividad laboral el 2012 es un 37% menor a la registrada el 2003, es decir, la disminución de la ley representa un 13% de la productividad registrada el año base.
- Un 26% de la pérdida de productividad se debe al factor ley, mientras que el otro 74% corresponde a otros factores tales como: intensidad capital-trabajo, calidad del trabajo, eficiencia

técnica, relación estéril material, mayores distancias en la mina, planificación, economías de escala, etc.

- Hasta el año 2007 el factor geológico parece no tener un efecto significativo sobre la productividad, sin embargo, a partir de ese año la caída de la ley comienza a afectar progresivamente el desempeño de la industria, reflejándose ésto en la tendencia divergente entre ambas curvas.

Gráfico N°8



Fuente: Elaboración propia en base a datos del BCCh, Cochilco y Sernageomin.

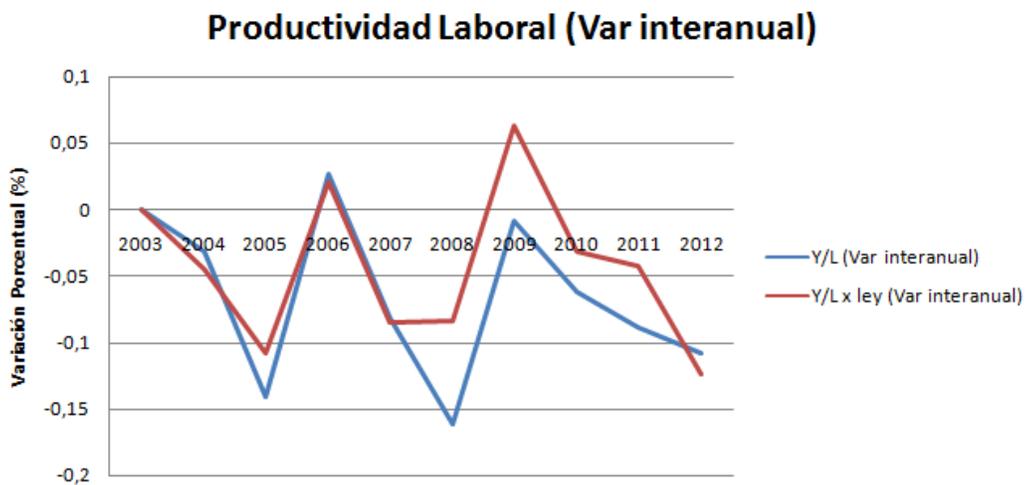
Del gráfico N°8 se desprende que:

- El año 2012 la productividad laboral sin corregir por energía es un 50% menor a la evidenciada el año 2003. Sin embargo, al controlar por la energía utilizada la productividad laboral el 2012 es un 27% menor a la registrada el 2003, es decir, la disminución de la ley representa un 23% de la productividad registrada el año base.
- Un 46% de la pérdida de productividad se debe al factor geológico usando como proxy la energía, mientras que el otro 54% corresponde a otros factores tales como: ratio capital-trabajo, calidad del trabajo, eficiencia técnica, planificación, economías de escala, etc.

Ahora bien, si queremos apreciar la evolución de la productividad en el corto plazo es conveniente observar la variación interanual que ha registrado, dado que así es más fácil apreciar los movimientos cíclicos que quedan ocultos en los análisis de más largo plazo donde lo que resalta es la tendencia.

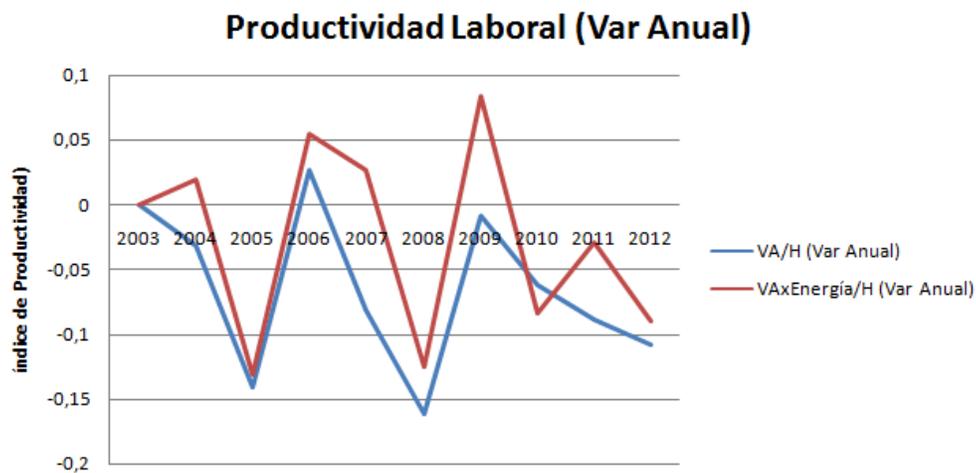
Así, el gráfico N°9 exhibe el comportamiento de la productividad laboral con y sin corregir por ley, medida como la variación con respecto al año anterior. Mientras que el gráfico N°10 muestra lo mismo pero con y sin corregir por energía.

Gráfico N°9



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Wood Mackenzie, Cochilco y Sernageomin.

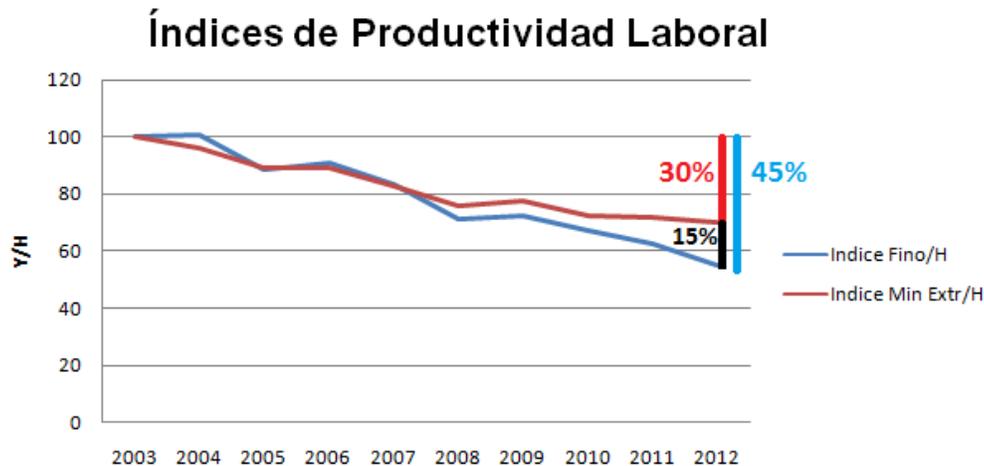
Gráfico N°10



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Wood Mackenzie, Cochilco y Sernageomin.

Con el fin de buscar medidas alternativas de productividad laboral, y aprovechando la riqueza de información propia de la industria, se construyeron dos índices de productividad laboral no tradicionales. El primer índice es la cantidad de fino de cobre dividido por las horas-hombre, el cual tiene inmerso el efecto de la ley del mineral por lo cual será una medida sesgada de la productividad. El segundo índice es la cantidad de mineral extraído dividido por las horas-hombre, medida que no se ve afectada por la ley del mineral por lo cual podría considerarse una productividad laboral corregida por el efecto ley. Ambos índices se encuentran reflejados en el gráfico N°11, destacándose su evolución divergente a partir del 2007 al igual como ocurre en las dos medidas exhibidas en el gráfico N°7.

Gráfico N°11



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Wood Mackenzie, Cochilco y Sernageomin.

El gráfico anterior es sumamente interesante dado que permite apreciar distintos fenómenos de la minería en lo relativo a la productividad:

- Lo primero, por evidente que parezca, es que ambas medidas poseen una tendencia a la baja que coincide con el inicio del boom en el precio del cobre.
- El cobre fino por hora hombre ha disminuido un 45% con respecto a la productividad del año 2001, mientras que el mineral extraído por hora hombre lo ha hecho en un 30% en relación al mismo año base.

- Es interesante observar e interpretar la brecha que existe entre ambos índices, ya que la diferencia entre el cobre fino y el mineral extraído se debe únicamente a la ley del mineral, permitiendo medir el efecto que posee la ley sobre la productividad del cobre. De esta forma observamos que para el año 2012, el factor ley explica un 33% de la pérdida de productividad en la minería del cobre con respecto al año 2003.
- Al comparar ambas medidas podemos observar que hasta el año 2007 la diferencia entre éstas era prácticamente nula, sin embargo, a partir de este año la brecha se comienza a expandir hasta llegar a un 21% el año 2012. Este hecho puede ser atribuido a la estrategia de las compañías mineras de maximizar la producción en desmedro de la calidad del mineral dado el alto precio del cobre. Así, material que antes era considerado estéril ahora se considera mineral, ya que es rentable procesarlo, pero con la consiguiente baja en la ley que está impactando en la producción del sector.

3.3 Productividad Total de Factores (PTF) en la Minería

Tal como se plantea en la sección I, la productividad total de factores, también conocida como residuo de Solow o medida de nuestra ignorancia, captura todo el crecimiento del producto que no es explicado por la acumulación de factores productivos (capital y trabajo), por lo tanto se considera una medida de la eficiencia con la cual los factores productivos son empleados.

Adicionalmente, la productividad total de factores también se ha relacionado con: la tecnología de la industria, las economías de escala propias de la industria, factores productivos omitidos, la asignación de recursos y la institucionalidad (“reglas del juego”) del sector, entre otras variables.

Como se discutió en el marco bibliográfico, la principal dificultad de medir la productividad total de factores (PTF) en la minería se debe a la problemática de cómo medir el factor geológico, para poder incorporarlo como un insumo productivo y así limpiar la PTF del aporte de factores no contabilizados.

Probablemente la solución a la encrucijada planteada anteriormente sea la mayor contribución del presente estudio, ya que tras analizar las diferentes formas de cómo ha sido abordada esta problemática, se establecieron dos metodologías para incorporar el factor geológico de manera implícita en el cálculo de la PTF y de todas las medidas de productividad, eliminando así el sesgo por factores productivos omitidos.

La primera metodología empleada fue incorporar el factor geológico mediante la ley del mineral al corregir el valor agregado generado en la minería por este índice. Matemáticamente:

$$(9) Y_0 \cdot [1 + (\Delta Y_t - \Delta Ley_t)] = A \cdot K_t^\alpha \cdot L_t^{1-\alpha}$$

Así, la productividad total de factores queda expresada por:

$$(8) A = \frac{Y_0 \cdot [1 + (\Delta Y_t - \Delta Ley_t)]}{K_t^\alpha \cdot L_t^{1-\alpha}}$$

La segunda metodología utilizada fue aproximar el factor geológico mediante el consumo de energía, dada la directa relación entre ley del mineral, dureza de la roca, profundidad del yacimiento y la intensidad de uso de energía. Matemáticamente este ajuste se expresa por:

$$(9) Y_0 \cdot [1 + (\Delta Y_t + \Delta Energía_t)] = A \cdot K_t^\alpha \cdot L_t^{1-\alpha}$$

Y así la productividad total de factores queda determinada por:

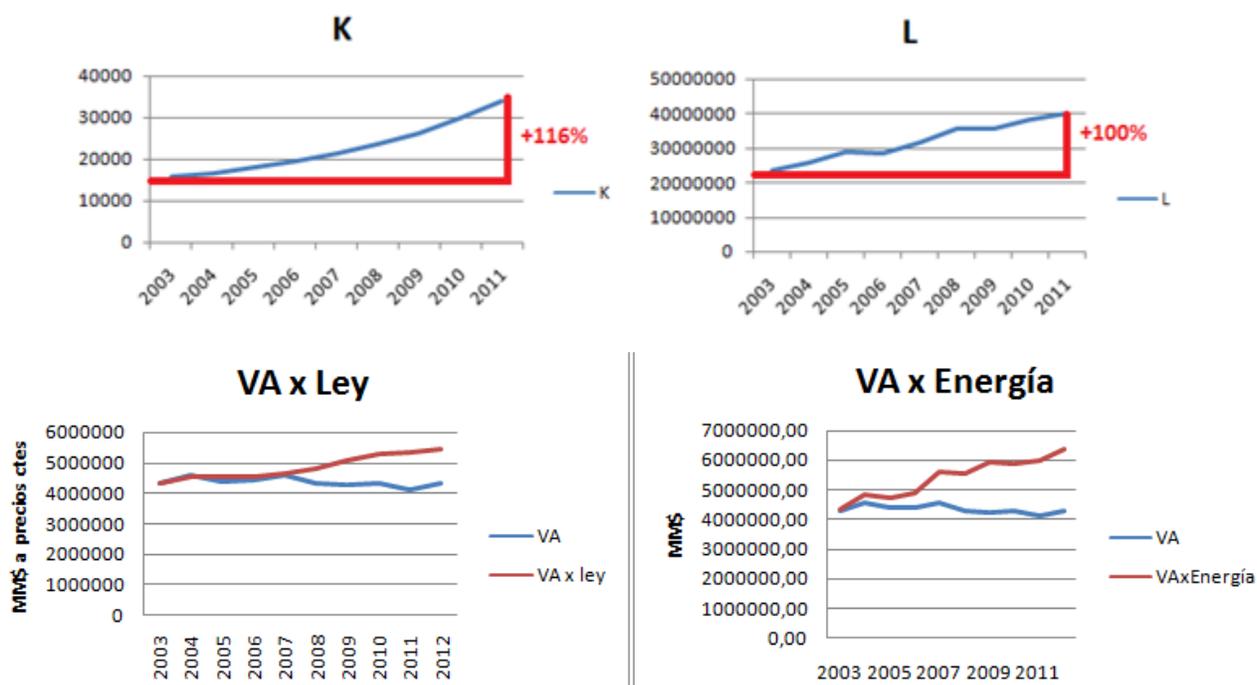
$$(10) A = \frac{Y_0 \cdot [1 + (\Delta Y_t + \Delta Energía_t)]}{K_t^\alpha \cdot L_t^{1-\alpha}}$$

Donde:

- A = Productividad Total de Factores (PTF)
- Y_0 = Valor agregado de la minería en el año base (2003)
- ΔY_t = Variación del valor agregado de la minería entre el año t y $t-1$.
- ΔLey_t = Variación de la ley del mineral entre el año t y $t-1$.
- $\Delta Energía_t$ = Variación del consumo energético entre el año t y $t-1$.
- K_t = Stock de capital de la minería el año t .
- L_t = Horas trabajadas en la minería el año t .

Al igual que en el apartado de la productividad laboral, si se conoce cómo han evolucionado los factores productivos versus el valor agregado del sector podremos estimar tentativamente la tendencia de la PTF. Esto se ilustra de mejor forma en el gráfico N°12:

Gráfico N°12

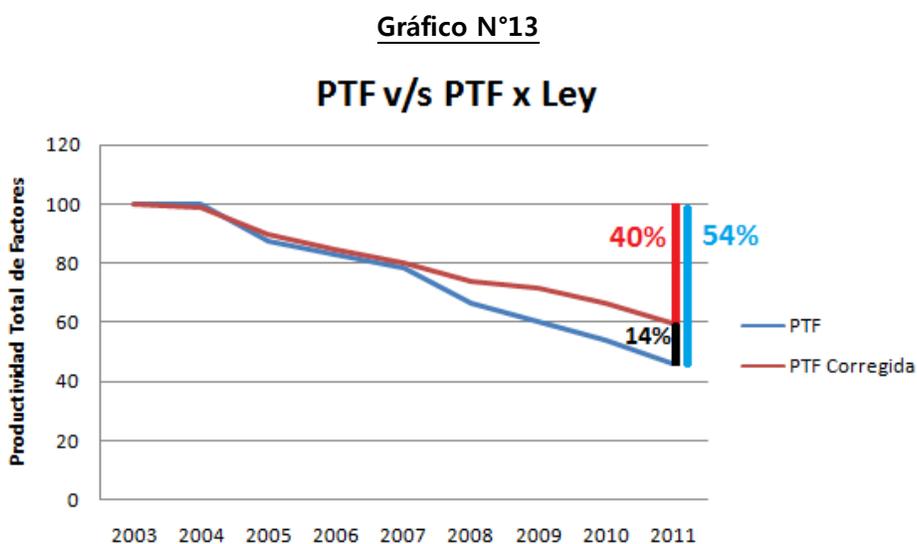


Fuente: Elaboración propia en base a datos del BCCh, Sernageomin y Cochilco.

De esta forma, es claro que la PTF evidenciará una tendencia a la baja dado que mientras los factores productivos se han duplicado en el periodo de estudio, la producción corregida por el efecto de menores leyes y la producción corregida por la energía utilizada sólo ha aumentado en un 27% y 48% respectivamente.

Luego, la pregunta a responder es cuán negativa ha sido la PTF y cuánto de esa merma de productividad se debe a las peores leyes del mineral, lo cual se responde de manera bastante clara en el gráfico N°13.

Cabe destacar que los cálculos son hasta el 2011 debido a que no se cuenta con una medida fidedigna del stock de capital para el año 2012.



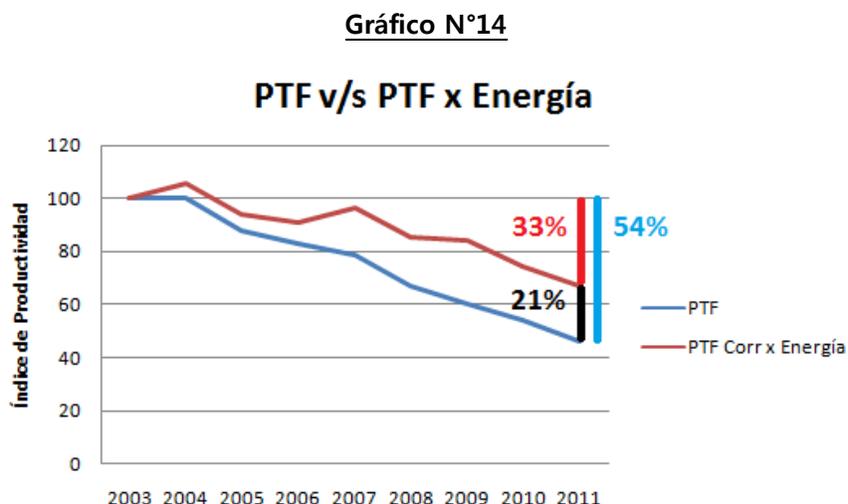
Fuente: Elaboración propia en base a datos del BCCh, Sernageomin y Cochilco.

Del gráfico anterior se desprende que:

- Al 2011 la productividad total de factores era un 54% menor que la registrada el año 2003, sin embargo, cuando consideramos el factor geológico dicha pérdida de productividad se reduce a un 40%. Es decir, la disminución de la ley representa un 14% de la productividad registrada el año base.
- Un 26% de la pérdida de productividad se debe al factor ley, mientras que el otro 74% corresponde a pérdidas de eficiencia en el proceso productivo. No obstante lo anterior, dentro ese 74% se encuentran factores geológicos que no son capturados por la ley y que afectan directamente a la productividad⁷.
- Al igual que en todos los análisis de productividad realizados en este artículo, el quiebre entre la productividad con y sin corregir por ley ocurre el año 2007. Es decir, hasta dicho año la omisión

⁷ Dentro de estos factores geológicos encontramos la razón estéril-mineral, la profundización de los yacimientos que implica mayor necesidad de insumos, la dureza de la roca, etc.

del factor geológico no sesgaba el cálculo de la PTF, sin embargo para el periodo 2007-2011 resulta significativo.



Fuente: Elaboración propia en base a datos del BCCh, Sernageomin y Cochilco.

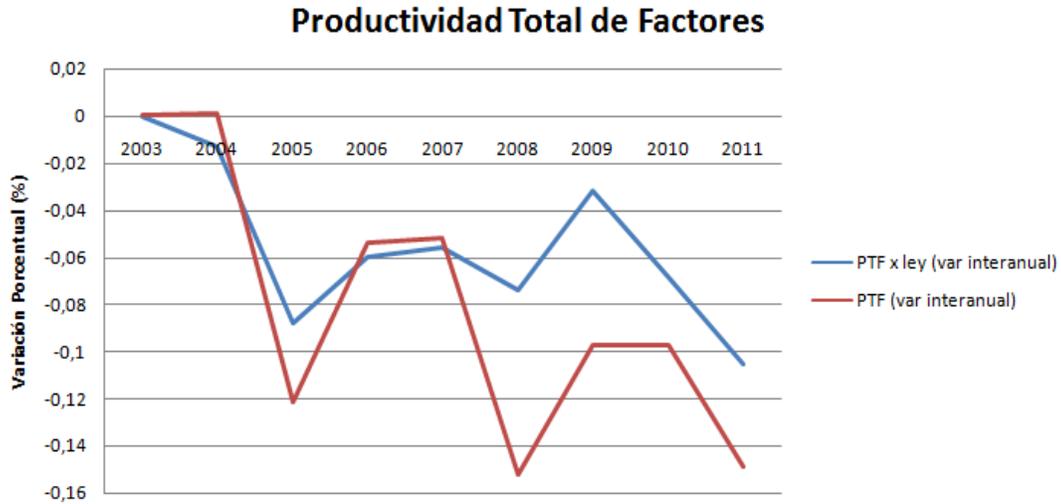
Del gráfico anterior se desprende que:

- Al 2011 la productividad total de factores era un 54% menor que la registrada el año 2003, sin embargo, cuando consideramos el factor geológico mediante el consumo energético, dicha pérdida de productividad se reduce a un 33%. Es decir, la disminución de la ley representa un 21% de la productividad registrada el año base.
- Un 39% de la pérdida de productividad se debe al factor ley, mientras que el otro 61% corresponde a pérdidas de eficiencia en el proceso productivo. No obstante lo anterior, dentro de ese 61% se encuentran factores referidos a normas y estándares de procesos que afectan directamente la productividad⁸.

⁸ Ejemplo: horas de la jornada laboral dedicadas a normas de seguridad que no tienen una contrapartida en la contabilización del valor agregado en el sector. Sin embargo, si se consideraran los efectos positivos de tener mejores normas de seguridad, ambientales y de producción no se podría hablar de mermas en la productividad, ya que no se produce más pero se produce mejor.

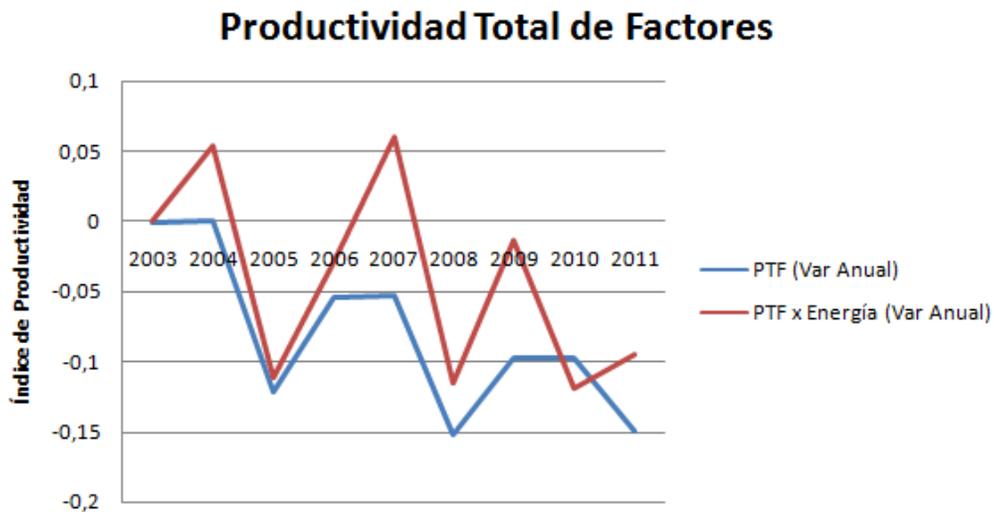
Luego, y al igual que lo realizado con la productividad laboral, es interesante apreciar la evolución de la PTF en el corto plazo, para lo cual se calculada la variaciones anuales de ésta bajo ambas correcciones. El gráfico N°15 muestra el comportamiento de la PTF con y sin corregir por ley, mientras que el gráfico N°16 lo hace con y sin corregir por energía.

Gráfico N°15



Fuente: Elaboración propia en base a datos del BCCh, Sernageomin y Cochilco.

Gráfico N°16



Fuente: Elaboración propia en base a datos del BCCh, Sernageomin y Cochilco.

Sin desmedro de ninguna de las conclusiones obtenidas en cada uno de los ejercicios realizados en la sección 2 y 3, hay un análisis que muchas veces se obvia por la dificultad implícita en su cálculo, esto es el desfase que existe entre la producción y la intensidad en la contratación de empleo. Este hecho hace que la productividad laboral media de la empresa sea menor que la productividad media de los trabajadores empleados, dado que hay espacios en los cuales la producción es cero (periodos de planificación y construcción de los proyectos).

Dado lo anterior, es posible que la visión sobre la productividad de largo plazo a la luz del performance de los últimos años sea extremadamente pesimista, dado que hemos vivido un boom de inversiones que en sus fases iniciales son "intensivas" en trabajo y con una producción en ascenso. Hecho que podría revertirse ante un enfriamiento de inversión en el sector (*ceteris paribus*⁹).

4. CONCLUSIONES

El presente estudio corrobora ciertos hechos y/o tendencias conocidos por la industria minera, tales como:

- Es el sector con mayor productividad laboral, sin embargo, evidencia una fuerte tendencia a la baja desde el inicio del superciclo del precio del cobre, que lo hace perder esta posición el año 2012 a manos del sector Energía, Gas y Agua.
- Los insumos productivos, capital y trabajo, han crecido fuertemente desde el inicio del superciclo, siendo más del doble de los utilizados el año 2003, en tanto la producción de cobre fino se ha mantenido prácticamente constante.

⁹ *Ceteris paribus* = producción constante.

Sin embargo, la mayor contribución del estudio radica en la obtención de distintas medidas de productividad en la minería que incorporan el factor geológico mediante las variaciones en la ley del mineral y la intensidad de uso energético. De esta forma se obtuvo que:

- La productividad laboral, medida como valor agregado en la minería por hora trabajada, disminuyó un 50% el año 2012 con respecto al año 2003. Sin embargo, cuando se corrige por la ley del mineral la merma en productividad disminuye a un 37%, de lo cual se desprende que la ley del mineral explica un 26% de la pérdida de productividad. Ahora bien, cuando la corrección por factor geológico se hace usando como proxy el consumo energético se obtiene que la productividad laboral sólo ha caído un 27% desde el 2003, con lo cual las condiciones geológicas (ley, dureza, profundización de la mina, etc.)
- La productividad laboral medida como mineral extraído por hora trabajada disminuyó un 50% el año 2012 con respecto al año 2003, mientras que la productividad laboral medida como cobre fino por hora trabajada lo hizo en un 30%. De lo anterior, se desprende que la ley del mineral explica un 33% de la pérdida de productividad.
- La productividad total de factores, medida como la variación del valor agregado en la minería que no es explicada por los factores productivos capital y trabajo, disminuyó un 54% el año 2011 con respecto al año 2003. Sin embargo, cuando se incorpora el factor geológico mediante la ley del mineral, la reducción en productividad disminuye a un 40%, de lo cual se desprende que la ley del mineral explica un 26% de la pérdida de productividad. Análogamente, cuando se corrige por el factor geológico omitido usando como proxy el consumo de energía se obtiene que la productividad sólo ha disminuido un 33%, con lo cual la merma en el factor geológico explicaría un 39% de la menor productividad.

- En todos los casos se evidencia que hasta el año 2007 la productividad con y sin corregir por ley era prácticamente la misma, pero a partir de entonces las medidas comienzan a divergir, apreciándose el efecto sobre la productividad de la merma en la ley del mineral.

Si bien, todas las medidas exhibidas en el estudio son similares y consistentes entre sí, a la hora de sacar conjeturas sobre el estado de la productividad en la minería chilena nos quedaremos con el cálculo de la Productividad Total de Factores (PTF) corregida por consumo energético. Esto porque es la medida que mejor aproxima la productividad como medida de eficiencia técnica al estar controlando por la acumulación de los tres principales factores productivos: capital, trabajo y recurso natural.

En lo referido a porqué se prefiere la corrección por consumo energético por sobre la corrección por ley, el argumento es que la corrección por energía incorpora el efecto ley e incorpora factores geológicos que afectan la productividad, los cuales la ley no es capaz de capturar.

De esta forma, se concluye que: 1. Cuando medimos la PTF en la minería de manera tradicional¹⁰, observamos que ésta representa un 46% del valor registrado el año 2003, o equivalentemente, es un 54% menor al año base. 2. Luego, al introducir el factor geológico mediante la intensidad del consumo de energía, se obtiene que la PTF es un 67% de la registrada el año 2003, o equivalentemente, es un 33% menor al año base. 3. Ergo, sólo un 39%¹¹ de la menor productividad, calculada en su forma tradicional, se explica por una disminución en el factor geológico (cantidad-calidad).

Con el fin de no sacar conclusiones erróneas, es importante notar que el 61% de menor productividad que no es explicado por las menores leyes incorpora variables exógenas como marcos regulatorios o normas de seguridad que son necesarias para el normal funcionamiento de la industria pero que no se observan de manera tangible en la producción.

¹⁰ Tradicional hace referencia al cálculo de la PTF considerando como factores productivos sólo el capital y trabajo.

¹¹ 26% = 14%/54%

Finalmente, y como motivación para una futura publicación, se plantea el cálculo de la Productividad Total de Factores utilizando servicios de capital y trabajo, en vez de stock de capital y dotación de horas, con el fin de capturar de mejor forma el aporte de dichos factores productivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Cobb y Douglas 1928. *A Theory of Production*.
- Green and Green 1985. *Productivity and Labour Costs in the Ontario Metal Mining Industry, Mineral Policy Background paper*.
- Jorgenson and Griliches 1967. *The Explanation of the Productivity Change*, Review of Economics Studies, Vol. 34, No. 3.
- Jorgenson and Stiroh 2001. *Raising the Speed Limit: U.S Economic Growth in the Information Age*, Brookings papers of Economic Activity, Vol.31.
- Lasserre y Ouellette 1988. *On measuring and comparing total factor productivities in extractive and non-extractives sectors*, Canadian Journal of Economics, Vol. XXI, No. 4.
- Solow 1956. *A Contribution to the Theory of Economic Growth*, The Quarterly Journal of Economics, Vol. 70, No. 1.
- Stiroh and Steindel 2001. *Productivity: What is it, and why do we care about it?*, Staff report 122, Federal Reserve Bank of New York.
- Tilton and Landsberg 1997. *Innovation, Productivity Growth and the Survival of the U.S Copper Industry*, Discussion paper 97-41, Resources for the Future.
- Timmer et al. 2007. *EU KLEMS and Productivity Accounts*.
- Topp et al. 2008. *Productivity in the Mining Industry: Measurement and Interpretation*, Productivity Commission Staff, Working paper.

- Wedge 1973. *The effects of Changing the Ore Grade on the Rates of Change in the Productivity of Canadian Mining Industries*, The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, Vol. 66.
- Zheng and Bloch 2012. *Australia's mining productivity paradox: implications for MFP measurement*, paper presented at the Economic Measurement Group Workshop 2009.

Trabajo elaborado por:

JORGE VALVERDE CARBONELL

Analista Económico

MARÍA CRISTINA BETANCOUR

Directora de Estudios

Diciembre 2013