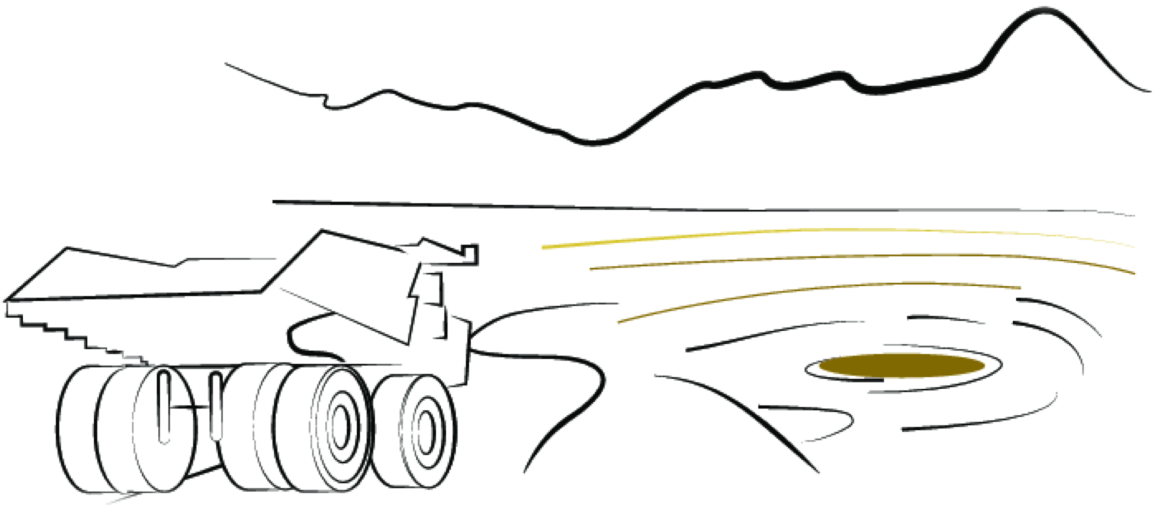
Comisión Nacional de **Productividad**



Informe Preliminar

Productividad de la Gran Minería del Cobre

Comisión Nacional de Productividad

Contenido

Capítulo 1 ____ 3

La Gran Minería de Cobre en Chile ____ 3

1.1. Introducción ____ 3

1.2. El proceso productivo del cobre ____ 3

1.3. La Minería del Cobre en Chile ____ 6

1.3.1. Breve Historia de la Actividad Minera en Chile (1800-2000) ____ 6

1.3.2. Minería del Cobre en la actualidad. ____ 9

1.3.3. Institucionalidad en la Minería del Cobre en Chile ____ 18

1.4. Desafíos contemporáneos de la minería del cobre ____ 20

1.5. ¿Por qué resulta relevante estudiar la productividad del sector minero? ____ 22

1.6. ¿Cómo se estructura el informe? ____ 23

REFERENCIAS ____ 25

Capítulo 2 ____ 26

Productividad en la Gran Minería del Cobre ____ 26

Síntesis ____ 26

2.1 Introducción ____ 27

2.2. Productividad en la gran minería del cobre en Chile ____ 30

2.2.1. Dinámica en la gran minería del cobre ____ 33

2.2.2. Metodología ____ 46

2.2.3. Resultados ____ 48

2.3. Análisis ____ 52

REFERENCIAS ____ 60

Capítulo 3 ____ 62

Benchmark ____ 62

Capítulo 4 ____ 63

Proveedores ____ 63

Capítulo 5 ____ 64

Recursos Hídricos y Energéticos en Minería ____ *64*

5.1 Introducción ____ *64*

5.2 Energía ____ *68*

5.3 Agua ____ *78*

5.4 Resultados Preliminares ____ *91*

REFERENCIAS ____ *95*

Capítulo 6 ____ *96*

Minería y Comunidades ____ *96*

6.1 Introducción ____ *96*

6.2 Impactos y desafíos de la Minería en su relación con Comunidades ____ *98*

1. *Impacto Ambiental* ____ *98*
2. *Cambios Demográficos* ____ *99*
3. *Manejo y uso de la tierra* ____ *99*
4. *Fuga de recursos* ____ *100*
5. *Asimetrías de información* ____ *101*
6. *Gobernanza* ____ *101*

6.3 Posibles conflictos con comunidades y costos ____ *101*

6.4 Licencia Social para Operar (LSO) ____ *104*

6.5 ¿Qué se está haciendo en Chile? ____ *105*

6.6 Estudio de Casos ____ *107*

- *Los Pelambres* ____ *108*
- *Cerro Colorado* ____ *110*
- *Rockwood Lithium* ____ *112*

6.7 Resultados Preliminares ____ *114*

REFERENCIAS ____ *117*

ANEXO ____ *119*

Anexo Presentación Benchmark ____ *123*

Capítulo 1

La Gran Minería de Cobre en Chile

Comisión Nacional de Productividad

BORRADOR

1.1. Introducción

Este capítulo esboza de manera simplificada las principales características del sector de la Gran Minería de Cobre en Chile, su relevancia para el país, y los principales desafíos que afectan su desempeño productivo. El objetivo de este capítulo es dar al lector una mirada introductoria al proceso productivo de la minería del cobre, y sus principales características en Chile. Temas como agua y energía, y otros se profundizan en capítulos específicos.

1.2. El proceso productivo del cobre

En el pasado, el hombre procesó el cobre durante miles de años, dado que este mineral aparecía en estado natural y puro. En la actualidad aparece disperso en grandes áreas, y mezclado con otros minerales y material estéril, lo que habla de un proceso productivo que enfrenta desafíos complejos y crecientes, y requiere de manera constante mayor sofisticación. Con el paso del tiempo, y en especial durante las últimas dos décadas, la depreciación misma del mineralha aumentado fuertemente, con menores leyes, agotamiento de recursos, y reducción en la razón mineral/estéril.

La primera etapa asociada al proceso productivo en la Gran Minería se inicia varios años antes de entrar en operación con la formulación de un Proyecto Minero, lo cual puede durar entre 8 a 15 años (ver Figura 1.1). El proyecto parte con la *Exploración* para descubrir un yacimiento potencial, confirmar su forma y leyes mediante sondajes, y desarrollar un estudio de perfil (en torno a un año de duración) con el fin de evaluar los recursos y ver los posibles niveles de producción. Luego, se llevan a cabo diversos

estudios de ingeniería de pre-factibilidad (en torno a tres años de duración) y, posteriormente, de factibilidad (en torno a un año de duración). Dados los resultados de dichos estudios, el siguiente paso es tomar la decisión de invertir para empezar a explotar el yacimiento en unos años más, o no hacerlo. El tiempo promedio que puede tomar desde un estudio de pre-factibilidad a la operación misma de la faena está en torno a los ocho años. En paralelo a los estudios de pre-factibilidad se inician los estudios de impacto ambiental y la tramitación de permisos. Ellos deben estar, en su mayoría, listos para la etapa de Ingeniería, Adquisiciones y Gestión de Construcción.

Figura 1.1 - Etapas de un Proyecto Minero previa a la Operación

Fuente: Elaboración propia

Una vez aprobada la factibilidad, diseñada la planta, y estructurado el financiamiento, se comienza el trabajo de construcción, que debería concluir con una faena operativa. La superación de estas etapas permite que el "Proyecto Minero" se convierta en una "Operación Minera". La *Operación* del yacimiento minero busca permitir la *extracción* el mineral desde la *mina* para luego llevarlo a la *planta* para su procesamiento.

El proceso de *extracción* varía según el tipo de faena, que puede ser a cielo abierto (un rajo) o subterránea.[1] Pero en ambos casos los principales subprocesos son la *perforación* y *tronadura* para separar el mineral de la roca, y el *carguío* y *transporte*

[1] En el caso de la minería del cobre las faenas subterráneas son la División Andina y la División El Teniente (ambas de CODELCO). La primera representa un 4% de la producción total a 2015, mientras que el segundo representa un 8% de la producción total de 2015.

para llevarlo a *planta*. En la *planta* se inicia el proceso de *chancado* con el objetivo de triturar la roca y reducir su tamaño. Existen chancadores primarios, secundarios y terciarios acorde al tamaño de roca que trituran.[2]

Hasta allí el proceso productivo es similar para todo yacimiento de cobre. El proceso luego cambia según el tipo de mineral de cobre que debe ser procesado, ya sean *Óxidos* o *Sulfuros*. Por aspectos geológicos los óxidos se encuentran más cerca de la superficie, por tanto tienden a ser los primeros en ser explotados, mientras que los sulfuros se encuentran a una mayor profundidad.

En el caso de los *Óxidos*, el proceso que sigue después del *Chancado* se denomina *Lixiviación*. Éste consiste en una separación del cobre mediante la Electro-obtención: en que a través de la electrólisis, se forman cátodos de cobre[3] a partir de pilas del material mineralizado que han sido regadas con una solución de agua con ácido sulfúrico.

En el caso de los *Sulfuros*, el material mineralizado, una vez triturado en el chancado es reducido a diámetros más pequeños mediante el proceso denominado *Molienda*.[4] Una vez que el material mineral se encuentra granularizado (molido) se forma una pulpa con agua y reactivos químicos. Por medio de estos reactivos y el agua, se genera un proceso de *Flotación* que consiste en la generación de espuma, de manera que las burbujas separan el cobre de la pulpa. El material se recolecta y se seca dando como producto el *Concentrado de Cobre* (aproximadamente 30% contenido de cobre). En el año 2015, el 69% del cobre en la gran minería se produjo por esta vía.

El concentrado de cobre puede ser exportado directamente, de hecho en torno a un 50% de las exportaciones de cobre del país son concentrados, pero en algunas faenas

[2] En algunas faenas mineras el chancador primario se encuentra dentro de la mina, más cerca de la extracción del mineral.
[3] En el año 2015, el 31% del cobre en la gran minería se produjo por esta vía.
[4] Son molinos que contienen bolas de acero, lo cual permite reducir la dimensión del material mineral.

es procesado adicionalmente a través de *Fundiciones y Refinerías* a través de hornos y electro-refinación, obteniendo como resultado final cátodos de cobre.[5]

Los precios de los minerales (como el cobre), al ser *commodities*, son determinados en mercados bursátiles, por ejemplo, la Bolsa de Metales de Londres. El precio se expresa en centavos de dólar por libra de cobre y refleja el valor de un cátodo Grado A con 99,99% de pureza. En el caso de los concentrados de cobre, el precio depende de la calidad del mismo (concentración de cobre y de contaminantes residuales del proceso).

En la minería de cobre existen yacimientos polimetálicos, que permiten producir cobre y otros minerales como subproducto de la faena. El subproducto más importante en Chile es el molibdeno, pero también se encuentran yacimientos de cobre con producción de oro, plata y otros.

1.3. La Minería del Cobre en Chile

Chile realiza actividades mineras metálicas y no metálicas. Entre las primeras destacan, en orden de importancia, el cobre, el oro, la plata, el zinc y el plomo. En el caso de la minería del cobre, también se obtiene molibdeno como un subproducto. La minería del cobre es una de las principales actividades productivas del país desde inicios de la República.

1.3.1. Breve Historia de la Actividad Minera en Chile (1800-2000)[6]

En 1803, cuando la era colonial ya llegaba a su ocaso, el empresario Juan Egaña presentó un informe al Real Tribunal de Minería dando cuenta del estado de la industria minera en Chile, y constatando la existencia de alrededor de 200 minas, en su mayoría de cobre.

[5] Para el período enero-junio de 2016 un 11.2% de las exportaciones de cobre tuvo como destino a Europa, mientras que un 10.6% tuvo como destino a América, y un 77.6% tuvo como destino Asia (China representa un 48% del total de las exportaciones, calificando como el principal socio estratégico).

[6] Esta subsección se basa en el prólogo de la Nota Técnica N° 2 Productividad en la Gran Minería del Cobre 2000-2014.

Aunque no tan llamativa como la extracción de plata o salitre, la minería del cobre tuvo un papel relevante en el siglo XIX. La revolución industrial generó desde la segunda década del siglo XIX una importante demanda de cobre, la que comenzó a ser satisfecha por productores chilenos. Desde 1825 los embarques con destino a las fundiciones de Swansea en Inglaterra aumentaron notablemente.

En 1831, la introducción del horno de reverbero por Charles Lambert revolucionó las técnicas de fundición de cobre al permitir el aprovechamiento de los sulfuros de cobres que antes eran abandonados. En la década de 1840 se introdujo el carbón de piedra como combustible de hornos y se instalaron fundiciones en Coquimbo, Tongoy y Guayacán para fundir el mineral extraído del recientemente descubierto yacimiento de Tamaya.[7] Gracias a Tamaya, en 1852, se pudo aumentar significativamente la producción de cobre, la que en la década de 1870 llega a su máximo nivel colocando a Chile como primer exportador de cobre del mundo con 52 mil toneladas métricas en 1876 y cerca del 40% de la producción mundial.

Sin embargo, el auge no fue sostenible. Chile redujo su producción a la mitad en 1899 debido principalmente a: (i) la caída en los precios internacionales a partir de 1875; (ii.) el progresivo agotamiento de los yacimientos de alta ley; y (iii.) el atraso tecnológico de las técnicas de extracción que no permitían explotar depósitos masivos y de menores leyes. Adicionalmente, los empresarios chilenos del sector no lograron acceso a financiamiento para modernizar las operaciones, motivando la venta de yacimientos a empresas extranjeras. Todos estos aspectos implicaron que para 1905 la participación de Chile en el mercado mundial cayera a un 4%.

La solución a nivel mundial al problema de menores leyes fue explotar el cobre porfírico (los pórfidos) de manera rentable, donde por cada tonelada de material extraído sólo entre el uno y el dos por ciento era cobre. Esto requirió un cambio tecnológico considerable tanto para la extracción como el procesamiento. También implicó realizar inversiones cuantiosas para poder operar de manera rentable un

[7] José Tomás Urmenenta, Un Empresario del Siglo XIX. Ricardo Nazer, Colección Sociedad y Cultura Centro de investigaciones Diego Barros Arana, DIBAM 1993.

yacimiento. El desarrollo de las nuevas tecnologías, principalmente la flotación, fueron realizadas en Estados Unidos, lo que permitió al país del norte convertirse en el líder mundial de producción de cobre.

Dado que Chile contaba con las mayores reservas mundiales de cobre porfírico, distribuidas a lo largo de la Cordillera de los Andes, surgió el interés de empresas norteamericanas por los yacimientos de Chuquicamata y Potrerillos en el norte, y de El Teniente en la zona central de Chile. Estas empresas extranjeras realizaron importantes inversiones para poner en marcha la explotación de los nuevos yacimientos cupríferos, denominados "Gran Minería del Cobre". A fines de la década de 1920 la producción de dichos yacimientos representaba el 93% de la producción de cobre nacional y el 17% de la producción mundial; alcanzando un máximo de 21% del cobre mundial en 1945. Con ello, Chile recuperaba el lugar que ya había ocupado a mediados del siglo XIX como el principal productor mundial de cobre.

Entrando en las primeras décadas del siglo XX el cobre reemplazó al salitre en el rol de la principal exportación del país, y comenzó a realizar aportes tributarios significativos. Chile fue incrementando los tributos a la minería y acumulando capacidades tecnológicas en un proceso que terminó en la nacionalización de la gran minería del cobre en 1971, donde los yacimientos de Chuquicamata, El Salvador y El Teniente pasaron a ser propiedad de Codelco. En esa época la producción de Codelco era cercana a 600 mil toneladas anuales, las cuales aumentó a una tasa de 4.2% promedio anual entre 1971 y 1991, mientras que su participación en el mercado mundial aumentaría de 9% en 1971 a 12% en 1991.

Si bien con el DL600 de 1974 se entregaron garantías a la inversión extranjera directa, la inversión llegó junto con el retorno a la democracia. En la década de 1990 se descubrieron una serie de yacimientos y el país recibió un flujo de inversión extranjera sin precedentes cercano a los US$20.000 millones,[8] lo cual permitió una expansión

[8] Hasta 1988 las cifras de inversión extranjera en minería representaban alrededor del 40% de la inversión que realizaba CODELCO durante esa misma fecha. En cambio, a partir de 1990 dicha razón cambió pasando 1 a 2.5 veces en promedio con una punta de 5 veces. Es decir, por un dólar que invertía CODELCO, la inversión extranjera en minería (en promedio) invirtió cerca de 3 dólares, con una punta de 5 dólares (1994 y 1995). Fuente: Comité de Inversiones Extranjeras y Manual

de la producción total de toneladas de cobre de 11% promedio anual durante dicha década. Esto significó que Chile aumentase su producción desde 1.6 millones de toneladas en 1990 a 4.6 millones de toneladas en el año 2000. De esta forma, Chile nuevamente se convertía en el principal productor de cobre con un tercio de la producción mundial.

1.3.2. Minería del Cobre en la actualidad.

La Minería del Cobre en Chile ha cambiado sustancialmente su escala productiva en las últimas seis décadas (ver Figura 1.2). En el período previo a 1990, la producción aumentó lentamente. El promedio 1950-1970 corresponde a 528 mil TM, mientras que en el período 1970-1990, tras la nacionalización del cobre el volumen de producción se duplicó y dicho promedio aumenta a 1.119 mil TM. Con la entrada de mayor inversión extranjera directa y el descubrimiento de varias faenas de clase mundial, la producción aumento más de tres veces con un promedio de 4.280 mil TM en el período 1990-2015.[9] La mayor parte del aumento en este período se llevó a cabo entre 1990 y 2004.[10]

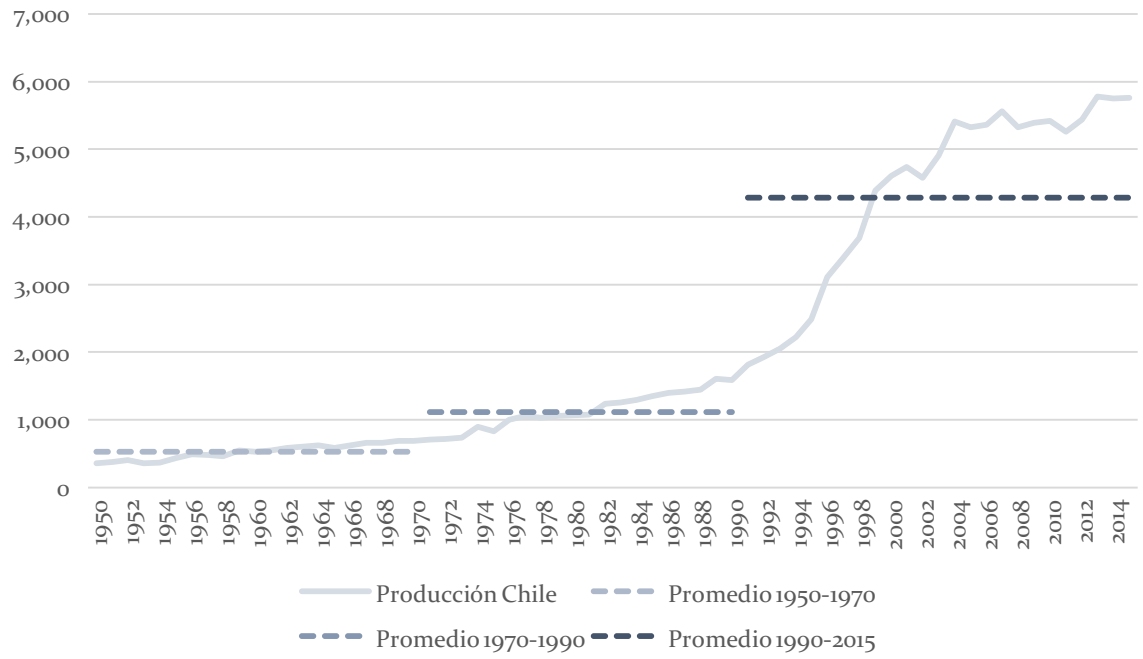
---

de Estadísticas Básicas, Gerencia de Estudios y Gestión Estratégica, CODELCO. Generalmente la IED en Minería representa un tercio de la IED total recibida por Chile.

[9] Sin ir más lejos, durante este período comenzó la explotación de Escondida, la mayor faena de cobre a nivel mundial.

[10] Durante aquella época entraron en operaciones 14 faenas que representaron el 58% de la producción total de cobre a 2015. Entre dichas faenas podemos decir que hay 3 operaciones de CODELCO que representaron un 39% de la producción total de la estatal a 2015.

Figura 1.2 – Producción de cobre en Chile 1950-2015 (miles de TMF)

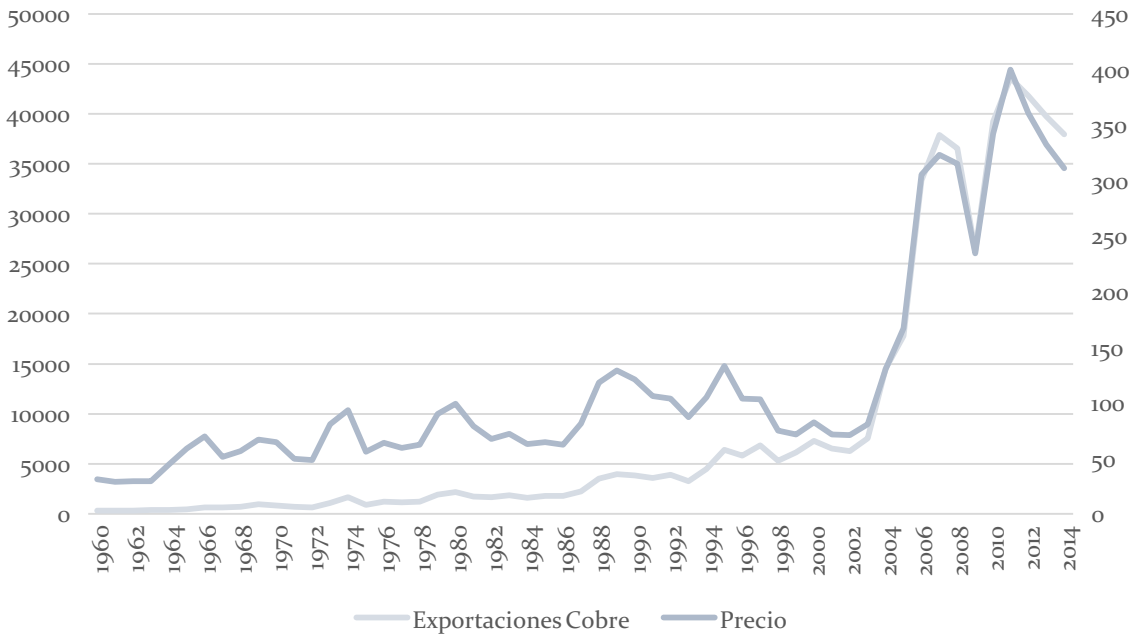


Fuente: Comisión Nacional de Productividad en base a Cochilco

¿Cuánto exportamos de cobre?

El valor de las exportaciones cupríferas promedió US$1.359 millones en el período 1960-1990 (ver Figura 1.3). En el período de mayor expansión productiva, 1990-2003, el valor de las exportaciones cupríferas promedió US$5.523 millones anuales. Durante el período del súper ciclo, 2004-2014, las exportaciones promediaron US$33.518 millones anuales. Al año 2015, el valor de las exportaciones alcanzó US$30.371 millones lo cual representa una reducción de un 30% aproximadamente desde el valor *peak* en 2011, US$43.614 millones.

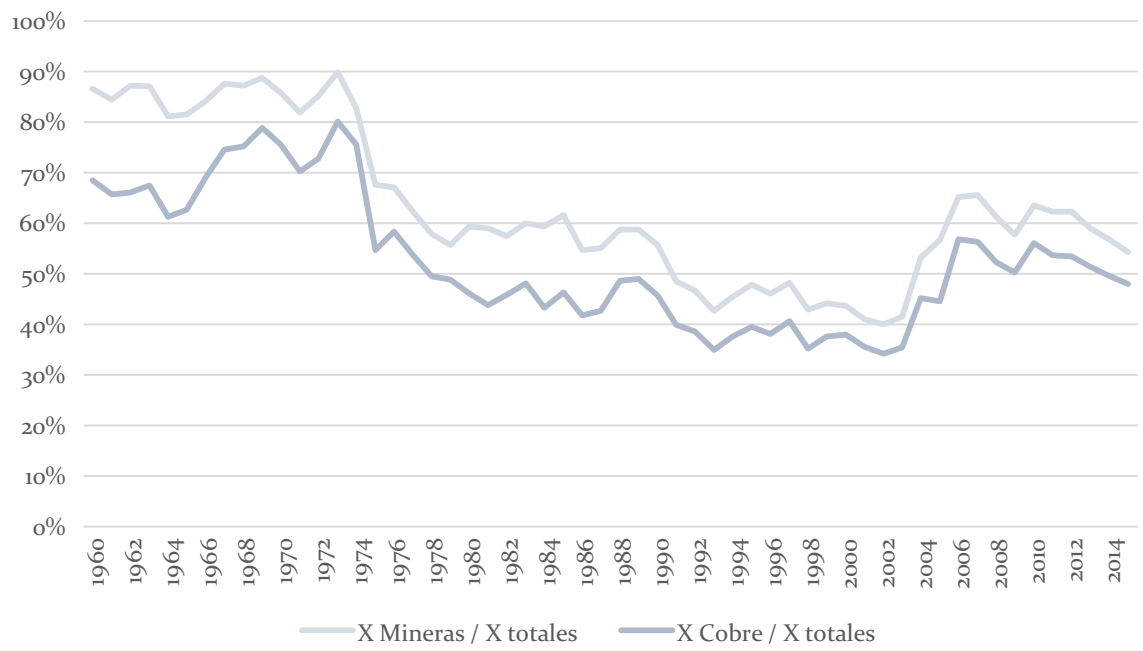
Figura 1.3 – Exportaciones y Precio Cobre 1960-2015 (US$ MM; cUS$ / lib)



Fuente: Comisión Nacional de Productividad en base a Cochilco

La minería del cobre es la principal exportación de Chile, y así ha sido durante el último siglo. En el período 1960-2015 la minería del cobre promedió 52% del total exportado, y nunca significó menos del 33% de las exportaciones totales del país (ver Figura 1.4). En 2015, las exportaciones de la minería del cobre representaron un 48% del valor de las exportaciones totales, y un 12% del PIB de ese año.

Figura 1.4 – Participación Exportaciones Cobre y Minería 1960-2015 (%)

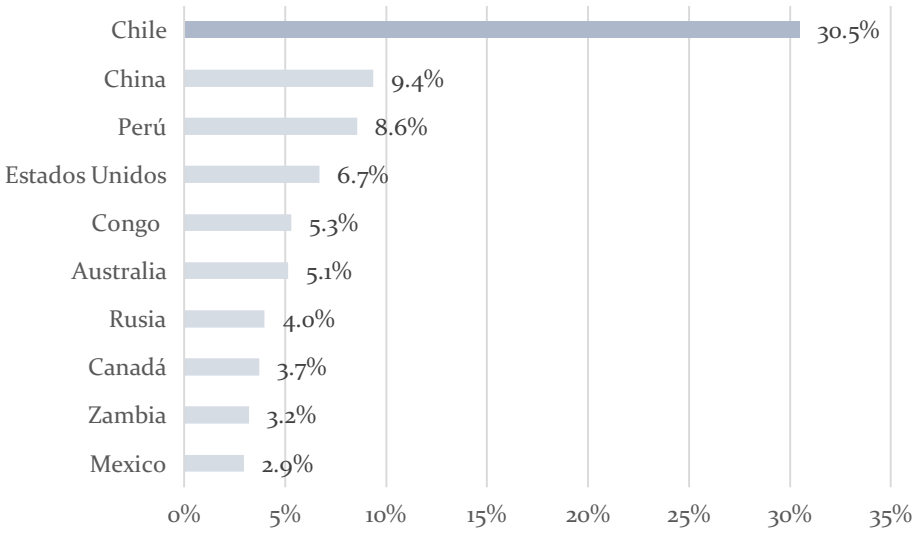


Fuente: Comisión Nacional de Productividad en base a Cochilco

¿Cuál es nuestra posición en el mercado de cobre mundial?

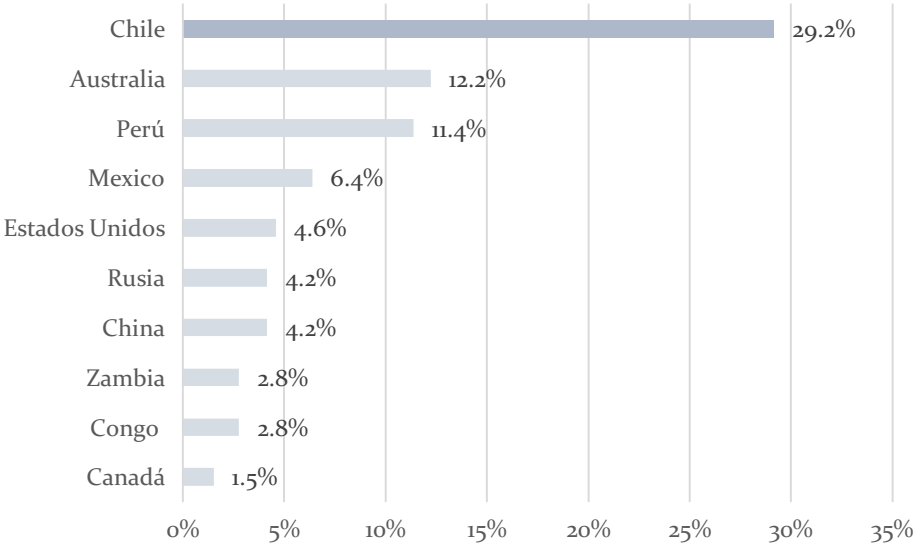
Al año 2015, Chile es el principal productor de Cobre con un 30,5% del total mundial, seguido por China con un 9,4% y Perú con un 8,6% (ver Figura 1.5). Adicionalmente, Chile cuenta con las mayores reservas de Cobre del mundo con un 29,2% seguido por Australia con un 12,2% y Perú con un 11,4% (ver Figura 1.6).

Figura 1.5 – Producción de Cobre por Países 2015 (% Producción Mundial)



Fuente: Comisión Nacional de Productividad en base a USGS

Figura 1.6 – Reservas de Cobre por Países 2015 (% Producción Mundial)

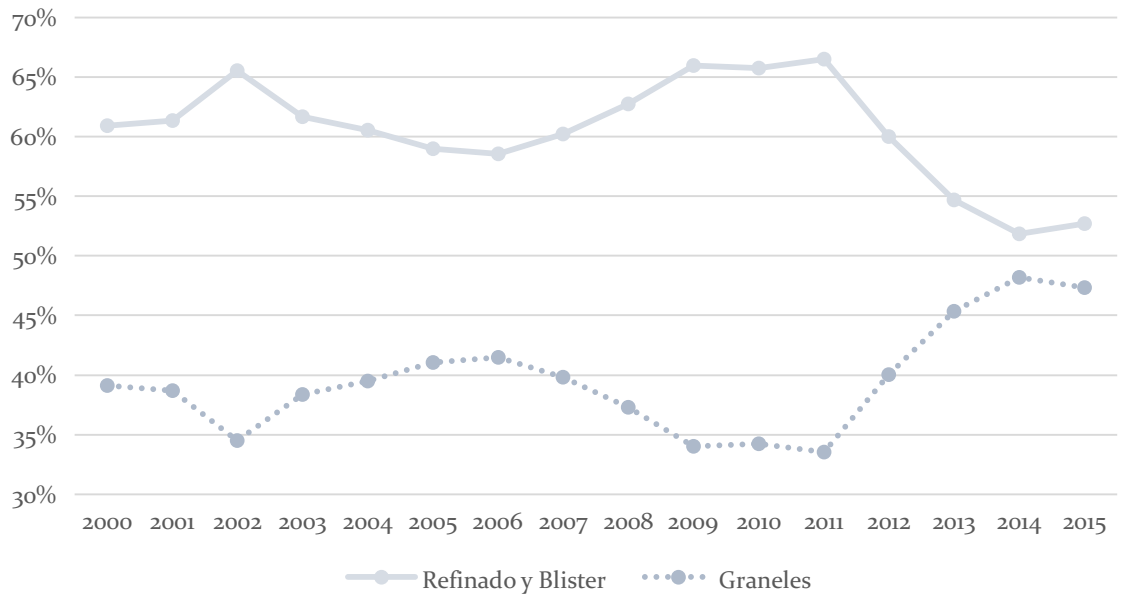


Fuente: Comisión Nacional de Productividad en base a USGS

¿Qué exportamos?

La producción de cobre se divide entre refinados (cátodos de cobre y blíster[11]) y graneles (concentrados de cobre) (ver Figura 1.7). Los segundos han ganado participación en las exportaciones de cobre en la última década y son enviados a fundiciones y refinerías en el extranjero; principalmente en China.

Figura 1.7 – Composición Exportaciones Físicas de Cobre por Categoría 2000-2015 (%; Miles de TMF)



Fuente: Comisión Nacional de Productividad en base a Cochilco

¿Hacia dónde exportamos?

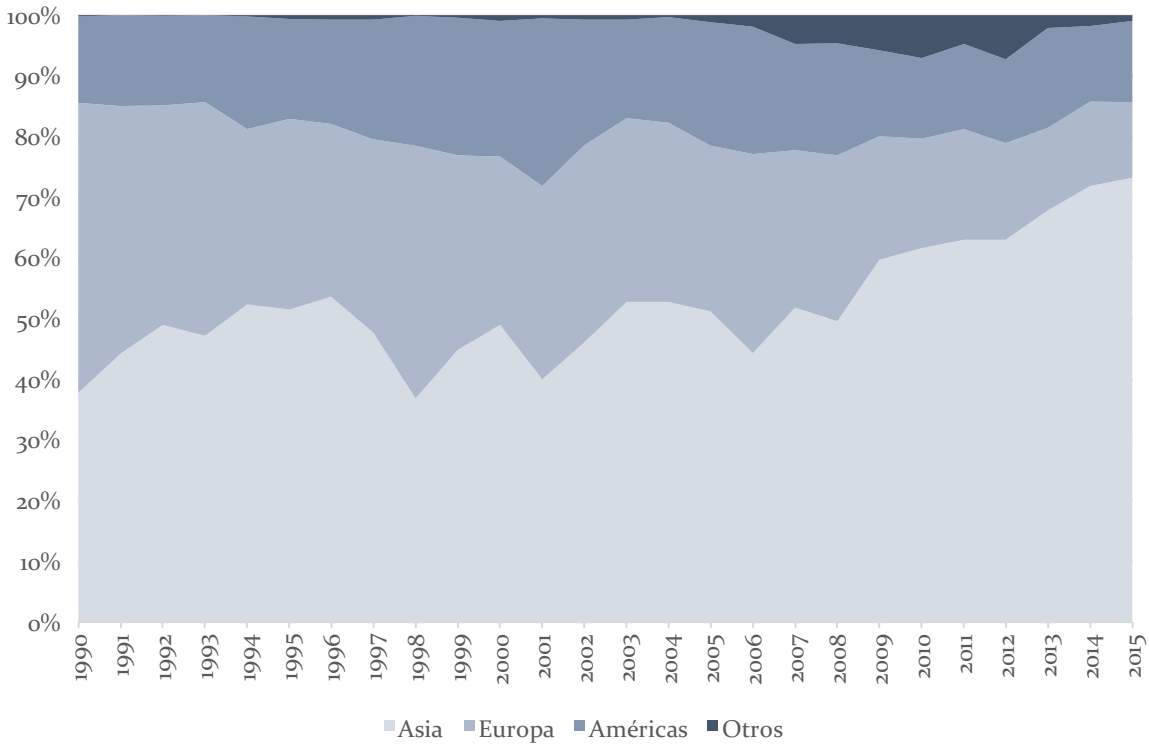
Durante el período 1990 a 2015, Asia se consolidó como el destino más relevante para las exportaciones chilenas de cobre pasando de 37,7% a un 73,7% (ver Figura 1.8). Ello ocurrió en desmedro de las exportaciones a Europa quienes vieron caer su participación en los embarques de cobre desde un 47,8% en 1990 a un 12,4% en 2015.

[11] El cobre blíster proviene de la pirometalurgia y posee un 99,5% de pureza. Su nombre se debe a las "ampollas" producto del aire inyectado en los convertidores de la fundición. A través del proceso de electrorefinación se obtienen los cátodos con 99,9% de pureza.

Las exportaciones a América, principalmente Estados Unidos, se situaron en torno al 14% durante los 90 para alcanzar un máximo de 27,6% en el 2001 y luego descender hasta el 13,4% de participación actual.

El auge de Asia se explica por la irrupción de China quien en 1990 recibía apenas el 0,2% de las exportaciones de cobre y en 2000 recibía el 12,2%. Al 2015, China representa el principal destino de las exportaciones cupríferas chilenas, recibiendo el 42,7% del Cobre, seguido de Japón y Corea del Sur con 10,6% e 8,4% respectivamente.

Figura 1.8 – Destino de las Exportaciones de Cobre 1990-2015 (%; US$ corrientes)



Fuente: Comisión Nacional de Productividad en base a Cochilco

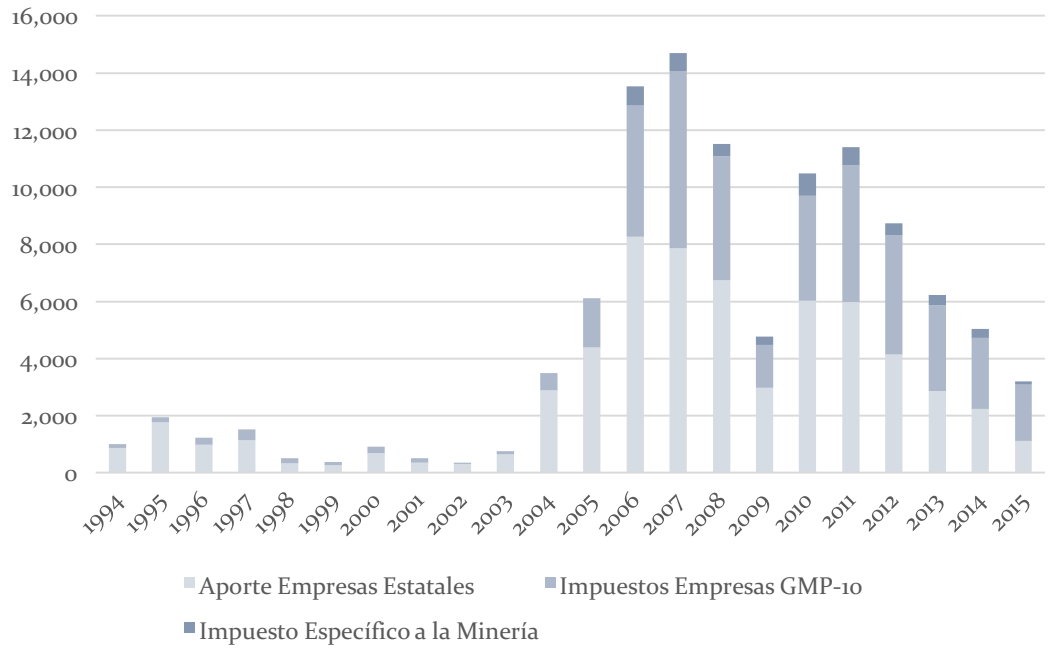
¿Cuál es el aporte de la minería del cobre al fisco?

En las últimas décadas, la minería ha realizado importantes aportes al fisco, tanto en términos relativos como absolutos. Previo al período del súper ciclo, 1994-2003, el aporte promedio de la minería a los ingresos fiscales fue de un 5,9%, en tanto que en

el período 2004-2014, el aporte prácticamente se triplicó–al igual que el precio del cobre–alcanzando un promedio anual de 19,6% (ver Figura 1.9). Ello fue un aporte fundamental para la acumulación de más de US$20.000 millones en los Fondos Soberanos.[12] Al año 2015, el aporte de la minería retornó a niveles similares al 2003 alcanzando un 6,1% de los ingresos fiscales. En general el precio del cobre, y por ende su relevancia en los ingresos fiscales, presenta alta volatilidad en términos reales (ver Figura 1.11).

En términos absolutos, e incluyendo las empresas estatales (CODELCO y ENAMI) la minería entregó aportes al fisco por US$96.017 millones en el período 2004-2014, de los cuales el impuesto específico a la minería aportó US$4.642 millones (ver Figura 1.10). En este período el aporte de la minería fue 10 veces mayor al aporte entregado entre 1994 y 2003 –US$9.099 millones.

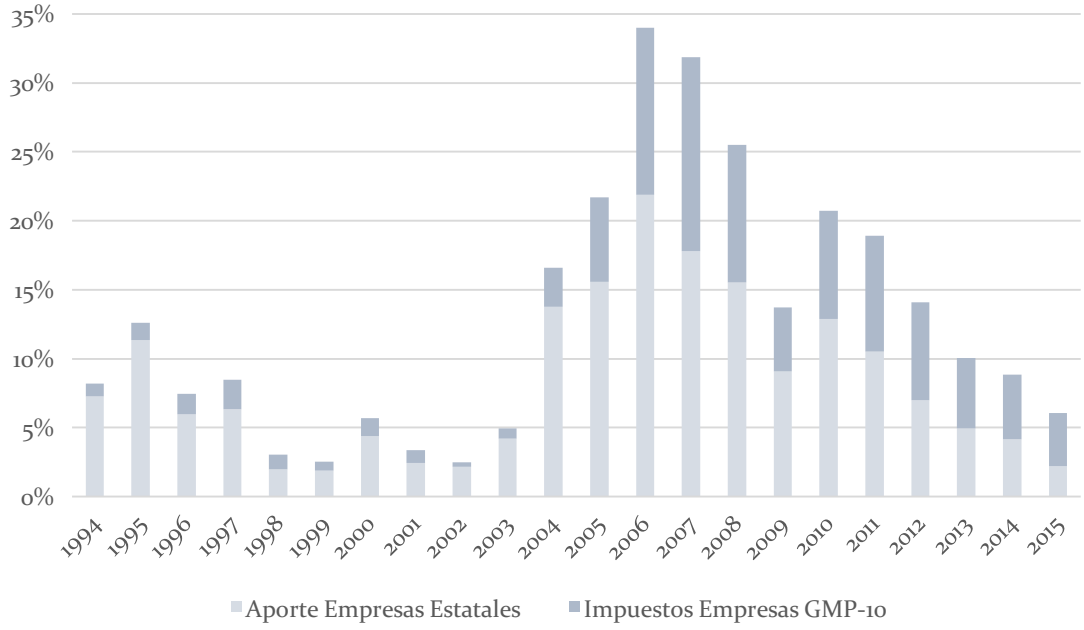
Figura 1.9 – Evolución del aporte del cobre al fisco 1994-2015 (US$ MM)



Fuente: Comisión Nacional de Productividad en base a Cochilco

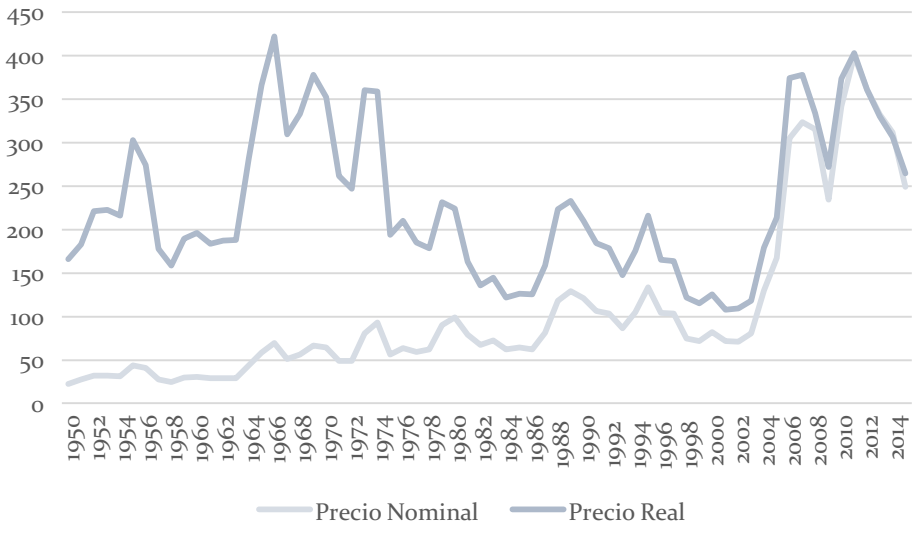
[12] Fondo de Reserva de Pensiones (FRP) y Fondo de Estabilización Económica y Social (FEES).

Figura 1.10 – Participación del cobre en ingresos fiscales 1994-2015 (%)



Fuente: Comisión Nacional de Productividad en base a Cochilco

Figura 1.11 – Evolución del Precio del Cobre 1950-2015 (cUS$/lib)



Fuente: Comisión Nacional de Productividad en base a Cochilco

Nota: Precio Real en base 2012=100

1.3.3. Institucionalidad en la Minería del Cobre en Chile

La institucionalidad adecuada para un sector de recursos naturales como el minero requiere de una serie de organismos y normativas, entre las cuales se cuentan: (i) un marco legal que de gobernanza a la exploración y explotación del recurso mineral con derecho de propiedad, (ii) un marco administrativo para la extracción de recursos minerales, (iii) políticas productivas que regulen las actividades mineras industriales y artesanales, (iv) un sistema de manejo de impuestos generales y particulares al sector, (v) políticas vinculadas a la salud y seguridad de los trabajadores y al impacto en el medio ambiente, y (vi) una base de información geológica relevante, entre otros.

El actual sistema de propiedad minera se basa en el otorgamiento de concesiones de exploración y explotación por parte del Poder Judicial. En materia jurídica, el Código de Minería se ha mantenido estable desde su creación en 1981, mientras que la Ley Orgánica Constitucional de Concesiones Mineras es la única de ese tipo (LOC) a la cual no se le han realizado modificaciones desde el retorno a la democracia.

El Ministerio de Minería fue creado en 1953, durante el segundo Gobierno del Presidente Carlos Ibáñez del Campo. La misión del Ministerio es liderar el desarrollo de políticas públicas en torno a la minería, con el fin último de aumentar la contribución de dicha actividad al desarrollo nacional.

La Comisión Chilena del Cobre (Cochilco), creada en 1976 mediante el D.L N°1.349, es un organismo descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Su misión es asesorar al Gobierno en la elaboración, implementación y fiscalización de políticas, estrategias y acciones que contribuyan al desarrollo sustentable del sector minero nacional. Adicionalmente, debe resguardar los intereses del Estado en sus empresas mineras, fiscalizando y evaluando su gestión e inversiones. Cochilco apoya

al Ministerio de Minería en la formulación de políticas públicas y el ministro es parte de su directorio.[13]

El Servicio Nacional de Minería y Geología (Sernageomin) es un organismo descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio. Su misión es asesorar al Ministerio de Minería y contribuir con los programas de gobierno en el desarrollo de políticas mineras y geológicas. En Sernageomin recaen funciones de seguridad en minería, la recopilación de información geológica y los cierres de faenas, entre otras.

La recaudación de impuestos generales y específicos es llevada a cabo por el Servicio de Impuestos Internos. La minería, adicionalmente al impuesto de primera categoría, paga un Impuesto Específico a la Minería (conocido como *"royalty"*). El Servicio Nacional de Aduanas apoya en la fiscalización.

Adicionalmente, el Estado chileno participa como productor en la industria del cobre a través de dos empresas mineras estatales.

La Corporación Chilena del Cobre (Codelco) es una empresa autónoma, propiedad del Estado chileno, cuyo principal negocio es la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y subproductos, su procesamiento hasta convertirlos en cobre refinado, y su posterior comercialización. Produce un 10% de la producción global de cobre y posee la mayor cantidad de reservas de cobre del mundo con un 8% del total. . La producción de Codelco supera a países como China y Perú (segundo y tercer productor mundial), y sus reservas son mayores que países como México y Estados Unidos,

La Empresa Nacional de Minería (Enami), creada en 1960 mediante el D.F.L N°153, es una empresa de fomento con funciones y características para dar respuesta a las necesidades de la pequeña y mediana minería. Enami tiene por objetivo promover el desarrollo de dichos segmentos en territorio nacional y permitirles a estas empresas acceder a los mercados internacionales de metales. Provee servicios para pequeños y

[13] A 2015 el presupuesto autorizado para Cochilco fue de CLP$4.839 millones de pesos, mientras que a 2007 el presupuesto alcanzó CLP$3.677 millones de pesos de 2015, representando un incremento nominal de 31% aproximadamente.

medianos mineros, en áreas de asistencia técnica y financiera, en adición a la compra, procesamiento y comercialización de minerales.

A la institucionalidad existente se suman la Sociedad Nacional de Minería (SONAMI) y el Consejo Minero como las dos asociaciones gremiales relevantes. La SONAMI agrupa todas las empresas mineras, en tanto que el Consejo Minero es constituido por las 16 mayores empresas. Por el lado de los proveedores existen la Asociación de Proveedores Mineros Industriales (APRIMIN), la Asociación de Industriales de Antofagasta (AIA) y Minería Innovadora y Exportadora (MINNOVEX). Por el lado de los trabajadores, existen la Federación de Trabajadores del Cobre (FTC), Federación de Supervisores de Codelco (FESUC), Federación Minera de Chile (FMC), la Federación de Supervisores de la Minería (FESUMIN), entre otras.

En síntesis, la institucionalidad chilena es bastante completa en términos de organismos y funciones. Sernageomin constituye una base de conocimiento geológico relevante. Cochilco y Sernageomin realizan catastros de la actividad minera, y definen políticas. Enami elabora políticas productivas para regular y potenciar la actividad en la pequeña y mediana minería. Existen asociaciones gremiales relevantes capaces de articular las visiones e intereses de los actores privados del sector tanto por empresas mineras como proveedores.

1.4. Desafíos contemporáneos de la minería del cobre

Los últimos veinticinco años han sido excepcionales para la industria en Chile, pues entre 1990 y 2003 el país aumentó en tres veces la cantidad producida, y el súper ciclo de los precios desde 2004 a 2012 multiplicó por tres su valor. Eventos como estos es poco probable que se repitan a futuro. En el corto plazo las condiciones menos favorables implican desafíos considerables para que el país pueda mantener su liderazgo en la producción mundial de cobre.

En el año 2014, el documento “Minería y Desarrollo Sostenible de Chile: Hacia una Visión Compartida” propuso una Minería a futuro que cumpliese con las

características de ser *Virtuosa, Inclusiva y Sustentable* lo cual se articuló a través de la organización *Valor Minero*.

Durante el año 2015, se desarrolló la denominada *Hoja de Ruta Tecnológica (HRT)*[14] *2015-2035* para la Minería del Cobre liderado por el *Programa Nacional de Minería Alta Ley*. Las metas son llegar a 7,5 millones de toneladas métricas al 2035, duplicar la proporción de producción en cuartiles de clase mundial, y cuadruplicar el número de proveedores exportadores de clase mundial con ventas de US$4.000 millones (ver Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Línea base 2015 y metas al 2035

Variable	Línea Base 2015	Meta 2035
Producción	5,5 millones de toneladas métricas de cobre promedio producidas durante los últimos 10 años	7,5 millones de toneladas métricas de producción anual promedio en los próximos 20 años
Costos	40% de producción en primeros cuartiles de costos de la industria a nivel global	80% de producción en primeros cuartiles de costos de la industria a nivel global
Proveedores	65 empresas proveedoras de clase mundial	250 empresas proveedoras de clase mundial

[14] Fundación Chile (2016) Desde el cobre a la innovación: Roadmap Tecnológico 2015-2035.

Exportación de Proveedores	US$537 millones de exportaciones de bienes y servicios vinculados a minería	US$4.000 millones de exportaciones de bienes y servicios vinculados a minería

Fuente: Fundación Chile (2016)

La HRT definió a través de reuniones de trabajo con todos los actores relevantes los principales desafíos tecnológicos del sector, denominados "núcleos traccionantes". Junto con ello también se definieron las dimensiones que permitirían resolver dichos desafíos, denominados "núcleos habilitadores". Los "núcleos traccionantes" se refieren a los desafíos asociados a las áreas de Relaves, Fundición y Refinería, Operaciones y Planificación Minera, Concentración de Minerales e Hidrometalurgia. Los "núcleos habilitantes" hacen referencia al Capital Humano, Proveedores e Innovación y Minería Inteligente (redes y protocolos).

El trabajo de la Comisión Nacional de Productividad complementa el esfuerzo de la Hoja de Ruta Tecnológica respecto de los "núcleos traccionantes" de Operaciones y Planificación Minera, Concentración de Minerales e Hidrometalurgia y también en torno a los "núcleos habilitantes" de Capital Humano y Proveedores e Innovación.

1.5. ¿Por qué resulta relevante estudiar la productividad del sector minero?

Dada la caída en el precio del cobre, el consiguiente fin de la bonanza, y la caída en las leyes, la única forma de que el cobre siga realizando su aporte al desarrollo nacional es elevando su productividad, y por ende, reduciendo sus costos unitarios. Esto está inevitablemente vinculado a un mayor rol del cobre en innovación.

Chile es un país pequeño respecto al mundo con la excepción del cobre. Nuestro país produce cerca de un tercio del cobre mundial, y posee un tercio de las reservas mundiales estimadas. Existen inversiones en carpeta por US$44.000 millones para el período 2015/2024 (Cochilco, 2015); y en un escenario máximo la producción llegaría a 9,5 millones de toneladas métricas máximo (Lagos et al., 2015). Actualmente, la

meta de producción al 2035 es de 7,5 millones de toneladas métricas. Sin realizar nuevas inversiones, Chile vería disminuida su producción a 4 millones toneladas métricas en el mismo período perdiendo su liderazgo global.

El cobre es el principal sector de la economía del país. Como hemos documentado en las páginas anteriores, la minería del cobre en Chile incide significativamente en el desempeño de la economía, tanto directa como indirectamente. De manera directa, la minería del cobre representa más del 10% del PIB, más del 50% de las exportaciones y cerca del 20% de los ingresos fiscales en la última década. En las regiones mineras, el cobre explica en torno a un tercio del empleo.

Según el Instituto Nacional de Estadísticas, el empleo directo del sector está alrededor de los 46 mil puestos de trabajo, lo que considerando a empresas contratistas alcanza los 230 mil (Sernageomin). El impacto directo en asentamientos urbanos asociados a faenas puede implicar en promedio cerca del 35% del empleo en zonas mineras. Por ejemplo, en la región de Antofagasta el empleo asociado a actividades mineras oscila en torno al 20% del empleo total de la región. De manera indirecta, la minería impacta a través de diferentes efectos multiplicadores. Cochilco (2012) estima que por cada empleo generado en el sector minero hay al menos 2 empleos generados indirectamente en otros sectores.

Adicionalmente, los períodos de alto crecimiento de la Productividad Total de Factores (PTF) agregada se vinculan directamente con períodos de alto crecimiento de la PTF minera. Por ejemplo, según los datos sectoriales del informe de productividad UAI/CORFO (2014), la PTF de toda la economía creció (en promedio) un 2.1% entre 1991 y 2000, mientras que para el mismo período, la PTF minera creció (en promedio) un 3.1%. Al realizar la misma comparación entre 2000 y 2014, los datos muestran que la PTF de la economía creció en promedio 0.5% anual, mientras que la PTF minera cayó en un 8% anual según dichas estimaciones. En el siguiente capítulo se profundiza en productividad total de factores en minería.

1.6. ¿Cómo se estructura el informe?

El trabajo de la Comisión Nacional de Productividad se centra en recomendaciones para la industria como un todo, así como para la política pública por lo que no contempla propuestas específicas a nivel de empresas, Codelco incluido.

El informe continúa de la siguiente forma. En el Capítulo 2 se abordan las dinámicas de la productividad total de factores de la minería del cobre. En el Capítulo 3, se presenta el estudio de benchmarking nacional e internacional profundizando en Productividad del Capital y Productividad Laboral. En el Capítulo 4, se presenta el sector de Proveedores de la minería y el rol que éste juega para aumentar la productividad con énfasis en su rol innovador. En el Capítulo 5 se presentan los desafíos de disponibilidad referentes a Recursos Hídricos y Energéticos, los cuales son fundamentales para la productividad futura del sector. En el Capítulo 6, se aborda la relación con las Comunidades.

REFERENCIAS

Cochilco (2012). Efecto macroeconómico y el aporte al desarrollo regional. En Cochilco y Ministerio de Minería (eds.) Minería en Chile: Impacto en Regiones y Desafíos para su Desarrollo (pp.39-58). Santiago de Chile.

Cochilco (2015). Inversión en la minería chilena. Cartera de proyectos 2015-2024.

Fundación Chile (2016) Desde el cobre a la innovación: Roadmap Tecnológico 2015-2035.

Lagos, G., Peters, D., & Jara, J. J. (2015) Potencialidades y desafíos para la minería del cobre chileno a 2035. Publicación de Trabajo, CIEM-UC. Julio 2015.

UAI-CORFO (2014) Evolución de la Productividad Total de Factores (PTF) en Chile, Boletín n 8. Universidad Adolfo Ibáñez/ Corporación de Fomento de la Producción. Santiago, Chile.

Capítulo 2

Productividad en la Gran Minería del Cobre

Comisión Nacional de Productividad

BORRADOR

Síntesis

La productividad en la minería, tanto en Chile como a nivel mundial, ha mostrado una tendencia negativa durante los últimos 15 años, período que coincide con el súperciclo de los precios de las materias primas. Este capítulo presenta estimaciones para la productividad multifactorial (PTF) a nivel de operaciones de la gran minería del cobre en Chile. La productividad es posible descomponerla en una parte estructural de largo plazo (tendencia) y un componente esporádico o de corto plazo con algún grado de persistencia (*shock* productivo). Nuestras estimaciones confirman la tendencia negativa encontrada en la literatura, con caídas en la productividad para el período completo de análisis (2000-2014) entre 12% y 18%. Dos etapas se delinean al ver la evolución de las cifras, la primera en el período 2000-2004 que muestra un aumento en la productividad (PTF) en torno al 6%; la segunda en el período 2005-2014 donde se observa una caída de 18-24%.

2.1 Introducción

Existe preocupación, tanto en Chile como en otros países productores de materias primas, por el declive en la productividad de la economía y en particular por la significativa caída de productividad observada durante la última década en sectores basados en recursos naturales. En Chile esta preocupación está acentuada en el debate actual, con particular énfasis en la industria minera, dada la importancia que tiene esta materia prima en las actividades económicas en general y en las exportaciones en particular.

La caída en la productividad, que se registra a nivel agregado en la economía, se manifiesta más pronunciadamente en el sector minero debido a factores estructurales propios del sector. La maduración de proyectos y el envejecimiento de yacimientos conllevan factores logísticos, tales como las mayores distancias (los rajos se hacen más largos y profundos) y factores geológicos (aumento en la dureza de las rocas y la caída en las leyes del mineral), que en la medición se registran como menor productividad de los insumos en uso. También se han producido alzas en los costos de insumos estratégicos, energía y agua; y externalización de servicios de mayor productividad que aparecen registrados en otros sectores.

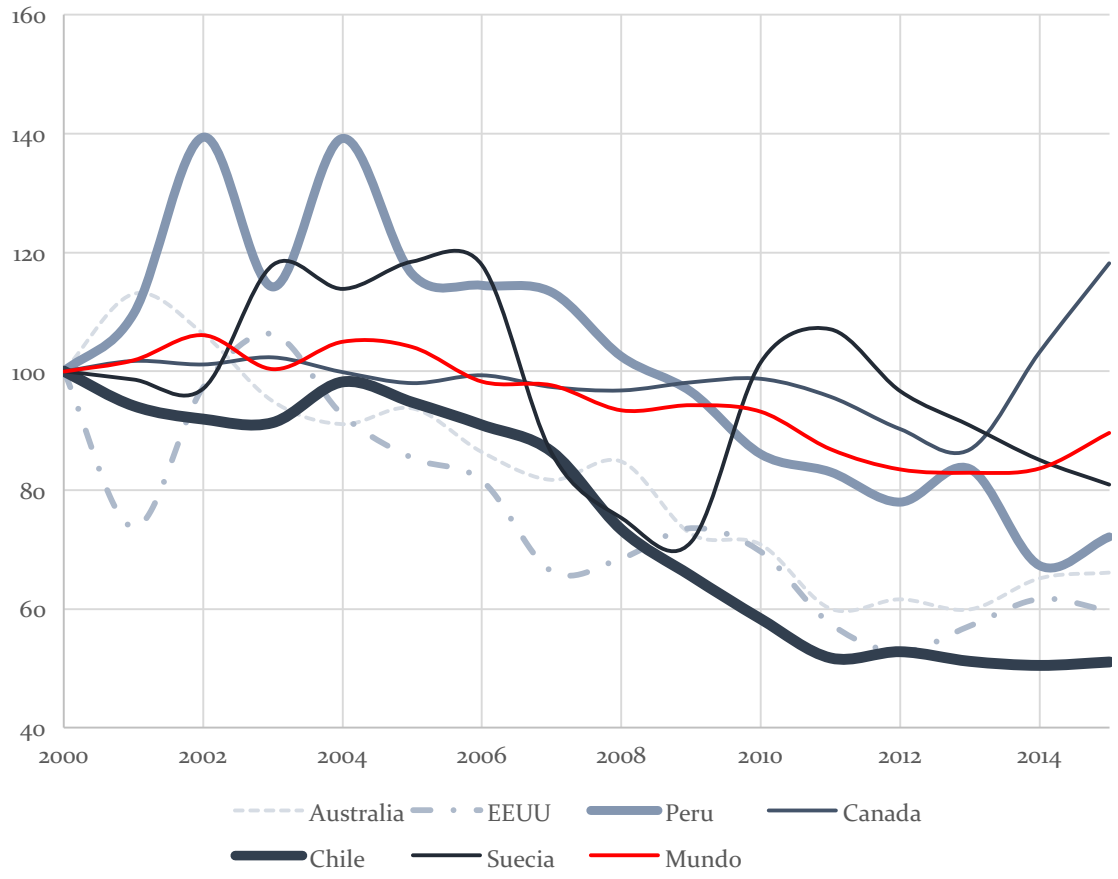
El patrón de declive de la productividad coincide entre países mineros (ver Figura 2.1). En base a información de Wood Mackenzie (en adelante WM) se observa que en promedio la productividad laboral en la industria del cobre cayó del orden de 20% para el período 2000-2015[15]. El sector minero canadiense es el único que presenta un crecimiento de 18% en su productividad laboral para todo el período. En cambio, Suecia, Perú, Australia, Estados Unidos muestran caídas en su productividad laboral. Para Chile la caída es del 50%, siendo la mayor del grupo.[16]

---

[15] Hay que considerar que la cifra mundial considera otras operaciones con realidades completamente distintas (Rep. Del Congo, Zambia, entre otros) a los actores principales de este mercado, incluidos en nuestro análisis en detalle para este informe tales como, Australia, Canadá, Estados Unidos, Chile y Perú.

[16] Esta medida de productividad -que no es más que la razón entre producción y empleo- tiende a esconder en su valor características del proceso productivo que no son posibles atribuir a la mano de obra. Por ejemplo, el tipo de capital que se utilice en el proceso productivo genera un impacto en la medida de productividad laboral. En cambio, la productividad total de factores (PTF), corrige por las características del proceso y obtiene una estimación del desempeño productivo de los insumos en su conjunto. Dicho de otra forma, la PTF mide cuán bien están trabajando en conjunto los factores de trabajo.

Figura 2.1 - Productividad Laboral Global 2000-2015 (Toneladas de cobre por trabajador)



Fuente: Cochilco en base a Wood Mackenzie

La hipótesis más aceptada propone que el aumento significativo de las utilidades durante el súper ciclo de precios de las materias primas (entre ellos el cobre) generó un deterioro en la productividad de los sectores intensivos en recursos naturales. El mecanismo viene dado por el foco en mayor producción, a costo de menor eficiencia en el proceso productivo. Así, la extracción acelerada para aprovechar el ciclo de precios extraordinarios incrementó los fenómenos logísticos y geológicos propios

del sector. Y aunque esto parece una decisión razonable, y hasta rentable a nivel de las empresas, la situación posterior al ciclo ha revitalizado el debate en torno al impacto de estas decisiones sobre el sector, en especial en el largo plazo donde se registran precios menores. Actualmente se busca entender las causas que explican la caída de la capacidad productiva, para así establecer una hoja de ruta que permita revertir dicha situación. La sola caída de precios ya ha generado un movimiento en esta dirección a nivel mundial, con contracciones en la dotación de trabajadores, suspensión de faenas, y posposición de inversiones. En esto Chile no es una excepción.

Tanto la productividad laboral como la productividad multifactorial son indicadores que permiten analizar la evolución de todo proceso productivo. No obstante, para realizar un correcto análisis en el contexto de la minería hay que tener en consideración ciertos factores propios del sector. Primero, la minería es un sector intensivo en capital, y grandes volúmenes de recursos se requieren para explotar un yacimiento, sin embargo el registro contable del capital en un período específico no quiere decir que dicha inversión está siendo efectivamente utilizada, pues entre el desembolso de los recursos y la extracción del mineral pueden transcurrir hasta ocho años.[17] Segundo, es importante considerar el impacto sobre las medidas de productividad que tiene la depreciación (pérdida de calidad) del recurso natural, es decir la caída en la ley de los yacimientos.[18] Tercero, a medida que los yacimientos maduran en su explotación se hacen más importante factores propios de la geografía que afectan la logística (distancia entre el origen del material y la planta), y de la geología (dureza del material extraído).

Dentro del período de análisis (2000 a 2014) la ley promedio de los yacimientos cupríferos de Chile cayó sobre un 40%, de alrededor 1% a 0.62%.[19] Aun así, la ley

[17] Hay que considerar que, primero, toma cerca de 5 años construir una operación minera, y otro par de años para que dicha operación entre en régimen, es decir, termine su marcha blanca (3 años aproximadamente).
[18] La ley del mineral es la proporción del mineral que termina siendo cobre. Por ejemplo, si la ley es del 1%, esto significa que de 100kg de material mineral se obtiene 1kg de cobre.
[19] Es decir, por cada tonelada de material mineral en 2000 se obtenía 10kg de cobre, mientras que en 2014 se obtenía de la misma tonelada 6.2kg de cobre.

promedio de los yacimientos chilenos (alrededor de 0.75%) durante ésta época fue mayor que el promedio mundial (alrededor de 0.59%). Si nos comparamos respecto a los principales actores del mercado, es decir, Australia, Canadá y Estados Unidos, nos encontramos que el promedio simple de sus leyes (alrededor de 0.66%) es inferior al valor chileno. No obstante, Australia presenta una ley promedio para el mismo período de 1.1%, lo cual resulta ser una ventaja importante. En el caso de Canadá dicha cifra es de 0.51% y para Estados Unidos es 0.31%. Al comparar los yacimientos chilenos con otros latinos, específicamente Perú y México, nos encontramos que el primero de este grupo presenta leyes (2000-2014) del mineral en torno a 0.34%, mientras que para el segundo es de 0.37%.

En este escenario, el análisis de la evolución en la productividad multifactorial del sector cuprífero nacional resulta de sumo relevante. En el largo plazo la productividad es la única forma de lograr hacer frente a los múltiples desafíos que enfrenta la minería chilena, incluyendo los de sostenibilidad y competitividad. Chile cuenta con más de un tercio de las reservas conocidas de cobre a nivel mundial, y presenta varias ventajas comparativas en la producción minera, de modo que el sector será parte relevante de la actividad económica del país por muchos años más.

2.2. Productividad en la gran minería del cobre en Chile

En términos de productividad agregada, desde 1999 la economía chilena muestra un desempeño significativamente pobre en comparación a los anteriores 15 años, el así llamado "período de oro". Durante el período 1986-1997, el crecimiento promedio anual de la productividad total de factores[20] (PTF) fue de 2.5%, mientras que para el período 2000-2014 fue de 0.1%.[21] Adicionalmente, al comparar el desempeño productivo chileno respecto a economías desarrolladas (que mantienen aumentos en

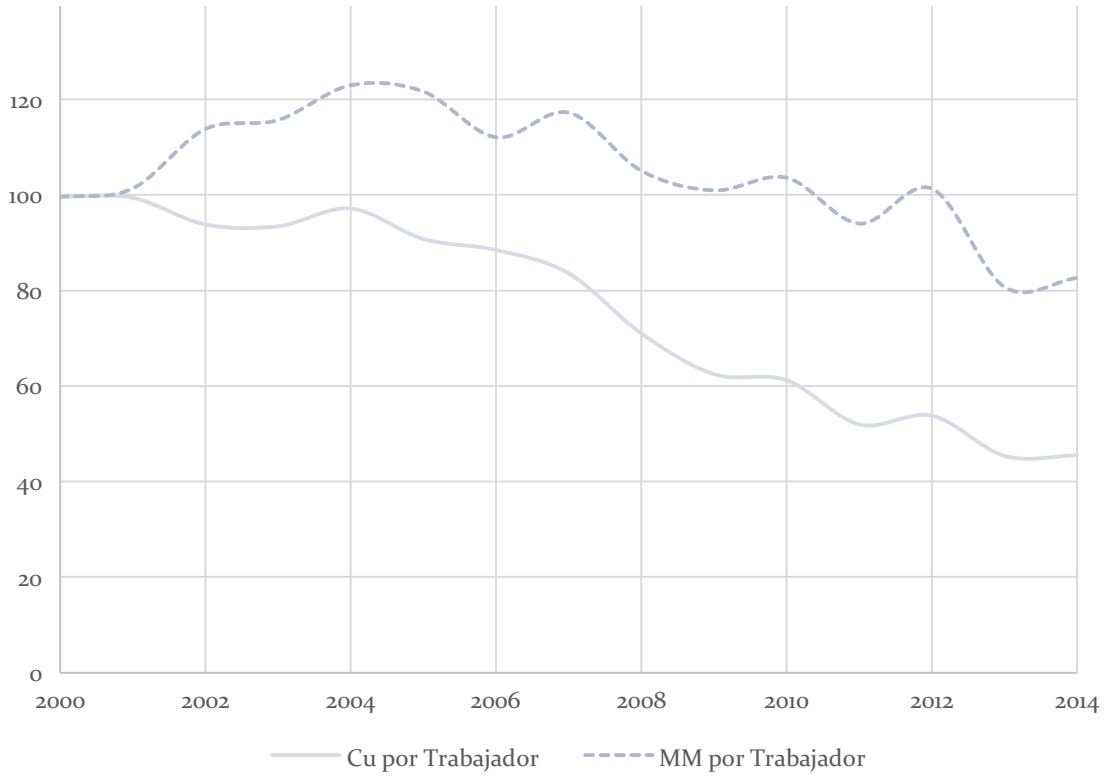
[20] También definida como productividad multifactorial.
[21] Ver Acta Comité Consultivo del PIB Tendencial (Agosto de 2015) MINHDA/DIPRES.

productividad), se observa que la brecha de la PTF ha aumentado de manera consistente.

La misma tendencia negativa se observa al considerar la productividad laboral del sector minero. Teniendo a disposición los datos actualizados de Cochilco por faenas de la gran minería del cobre (que representa más del 90% del total producido), se corrobora el patrón mencionado. La Figura 2.2 presenta la evolución de la productividad laboral en la gran minería del cobre, considerando toneladas de cobre refinado equivalente[22], y material mineral movido. Nótese que la cantidad de toneladas de cobre refinado por trabajador presenta una caída casi permanente y que acumula al final de período un 54%, es decir que un trabajador en 2000 era capaz de producir el doble de cobre refinado que el mismo trabajador en 2014. Esta medida está afectada por el deterioro de la ley minera, pues aunque el trabajador opere su camión con las mismas toneladas entre 2000 y 2014, y las plantas operen a la misma capacidad, la misma carga de material presenta menor contenido de cobre para refinar producto del deterioro en la ley del mineral. Sin embargo, al medir las toneladas de mineral extraído por trabajador[23] se observa que la caída es de un 17%. Esta medida es una mejor indicación de productividad laboral porque no se ve afectada por la ley del material, y de hecho se puede observar que las toneladas de mineral extraído por trabajador aumentan entre el 2000 y 2004, y permanecen sobre el nivel inicial hasta 2010.

Figura 2.2 - Índice Productividad Laboral (Base 2000 = 100)

[22] En este caso la medida considera tanto cobre refinado efectivo como el equivalente refinado al cobre contenido en el caso de producción de concentrados.
[23] A partir de la ley promedio por faena más la tasa de recuperación se obtiene un estimativo del mineral extraído por faena.



Fuente: Elaboración propia

La evolución de la productividad agregada multifactorial muestra el mismo efecto. Varias estimaciones han concluido que la PTF del sector minero viene disminuyendo hace más de 10 años.[24] Este resultado es robusto a diversas metodologías, aunque con distintos órdenes de magnitud. Por ejemplo, la metodología de contabilidad del crecimiento UAI-CORFO (2014) estima que la tasa promedio de crecimiento anual de la PTF para el sector minero va desde un aumento de 3.3% para el período 1993-1998 a una caída de 8.3% entre 2000-2014. Bajo la misma metodología, Corbo y González (2014) estiman que el aporte de la PTF minera al crecimiento del sector para el período 1998-2003 fue -1.5% anual,

[24] Por ejemplo, Jara et al. (2010), Cochilco (2014), Corbo y González (2014), De Solmihinac et al. (2014), y UAI-CORFO (2014).

mientras que para los períodos 2004-2008 y 2009-2011 dicho aporte fue -8.3% y -15.9%, respectivamente. Para explicar estos resultados los autores hacen referencia (entre otros aspectos) al incremento en el costo de muchos de los insumos asociados al sector minero, lo que según sus estimaciones ha reducido el valor agregado que aporta dicho sector a la economía.

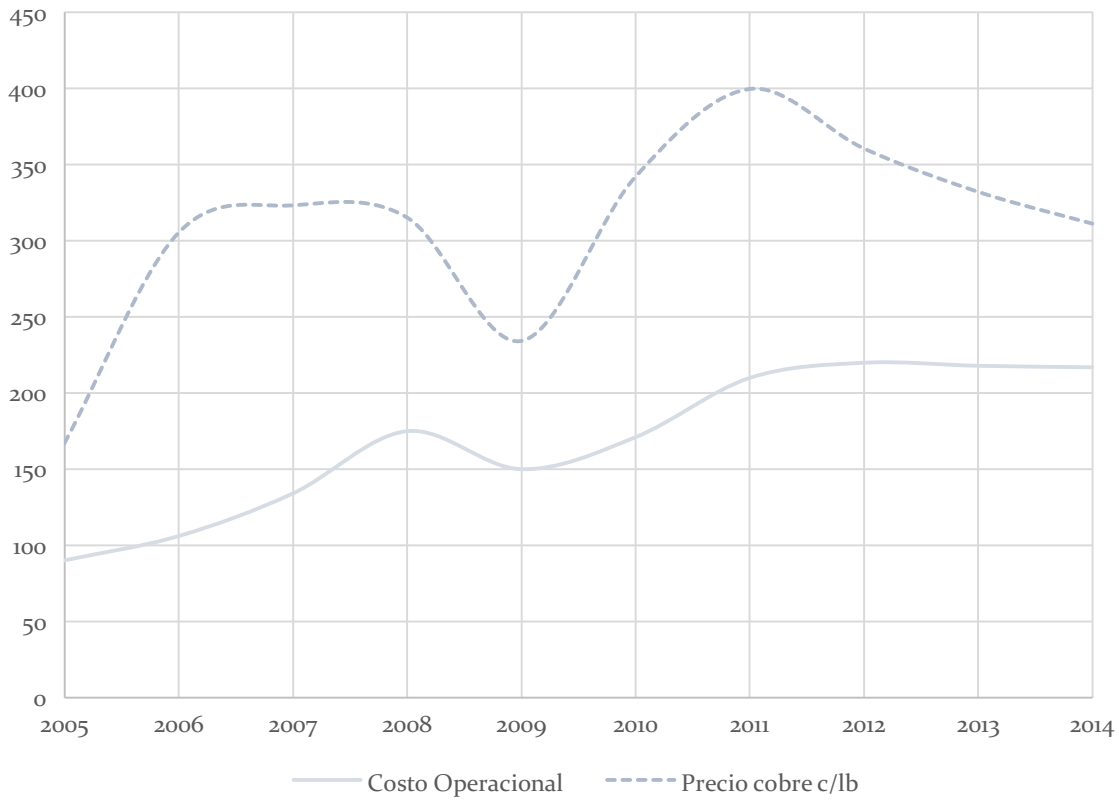
Estudios de Cochilco muestran resultados similares. Un análisis del sector publicado en 2014[25] estima que la PTF para la minería del cobre se redujo en promedio un 1.6% anual durante el período 2000-2013. En este caso la estimación considera una corrección por la calidad del recurso geológico, ocupando la ley reportada por las compañías, y la razón entre material estéril y mineral.

2.2.1. Dinámica en la gran minería del cobre

La hipótesis comúnmente aceptada propone que la caída en productividad (incluso luego de corregir por los factores propios del sector) se debe al impacto del súper ciclo de precios (ver Figura 2.3).

[25] Productividad en la Industria Minera en Chile, (2014).

Figura 2.3 - Evolución Precio y Costo Operacional para Minería del Cobre en Chile.[26]



Fuente: Cochilco (2015)

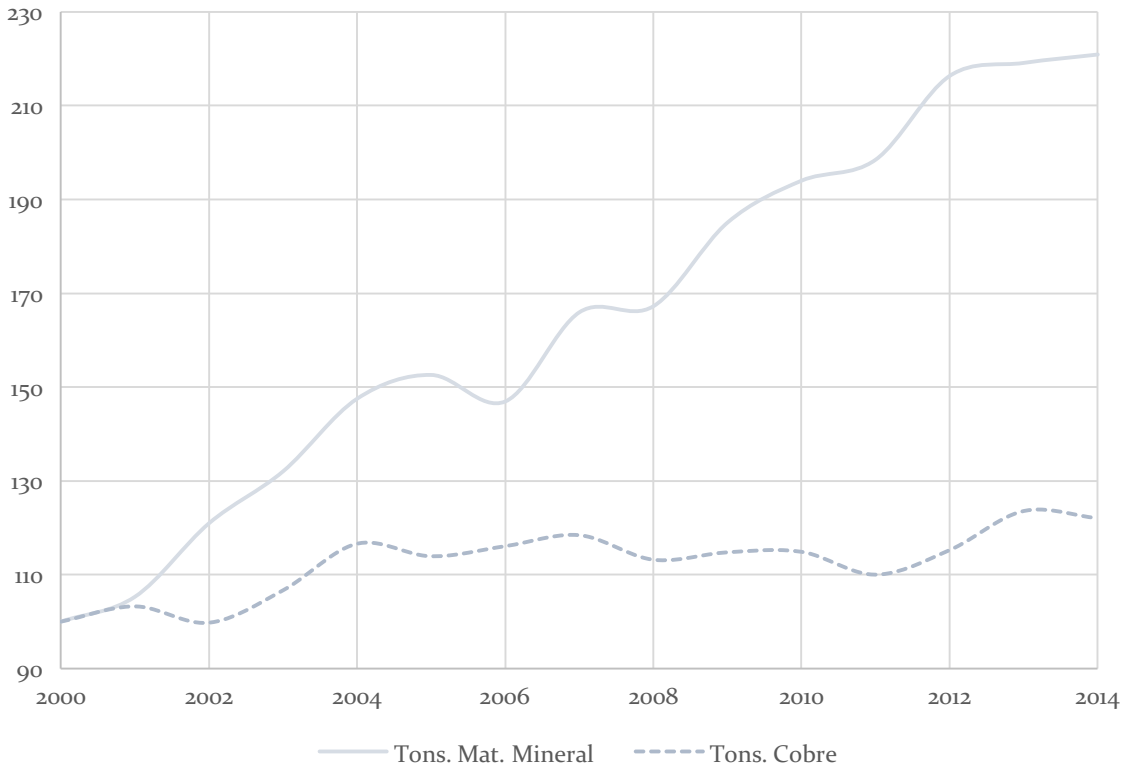
El alza pronunciada de precios—un fenómeno de corto plazo—llevó a priorizar la producción a todo costo, incluso a costo de la eficiencia del proceso mismo. Existen factores internos y externos que se ven afectados por un ciclo repentino de altos precios. A nivel interno afecta las expectativas sobre variables relevantes para la toma de decisiones (por ejemplo, dotación o nivel de inversión) y el diseño asociado al proyecto (por ejemplo, los plazos, la escala, la tecnología e ingeniería a utilizar). A nivel externo afecta las relaciones con el medio (por ejemplo, proveedores, comunidades, gobiernos, gremios, etc.), y factores exógenos a las operaciones (por ejemplo, leyes, regulaciones, infraestructura pública, etc.). No existe claridad sobre

[26] Costo operacional considera: costos de extracción, costos de tratamiento, flete y refinación, y gastos administrativos.

cuál es la combinación e incidencia de estos factores en el desempeño general de una firma o del sector.

Los datos muestran que a nivel agregado la gran minería del cobre logró incrementar la producción de toneladas métricas de cobre refinado equivalente en un 22% entre el período 2000-2014 (ver Figura 2.4). Este aumento fue más importante en la primera parte del ciclo, con una alza de 17% en el período 2000-2004, que se redujo a un 4% en 2004-2014 a pesar de la entrada de nuevos proyectos en la segunda mitad de la década. Sin embargo, es importante considerar que este 22% de aumento en la producción de cobre refinado demandó un incremento de 121% en el material mineral extraído. Esta enorme—y creciente—brecha entre ambas series se explica por dos factores: las características del mineral a procesar (es decir, su ley, dureza y otras propiedades minerales), y la tasa de recuperación (es decir, la capacidad de la planta de extraer mineral de cobre del material mineral). El primer factor se considera exógeno a las faenas, pues está determinado por la naturaleza y la geología; mientras que el segundo viene asociado a factores internos, como el proceso productivo y variables técnico-económicas.

Figura 2.4 - Índice producción de cobre refinado y mineral extraído en la gran minería del cobre



Fuente: Elaboración propia

El incremento significativo del material mineral extraído requerido para producir una unidad de cobre se debe a la caída en la ley de los yacimientos. Aunque aumentar la cantidad producida responde a una decisión económicamente racional por parte de las empresas frente al alto precio del mineral, a su vez representa un desafío permanente para las faenas e impacta con fuerza sus costos. Con la mayor extracción no sólo se obtiene menos cobre de la misma proporción de mineral extraído (la caída en la ley, un fenómeno geológico), también se hace más costoso obtener dicho insumo a medida que va envejeciendo el yacimiento, porque a medida que profundiza el rajo (o la profundidad subterránea) aumentan las distancias necesarias para llevar el mineral extraído a la planta (lo que exige mayor gasto en transporte), aumenta el volumen de lastre y desechos (nuevamente, más transporte y botaderos) y aumenta la dureza de la roca (otro fenómeno geológico) lo que demanda mayor energía en tronadura, chancado y molienda, entre otros. Y aunque el sector ha incorporado importantes mejoras organizacionales, mayor nivel de

conocimiento, y adelantos tecnológicos que en parte han contrarrestado estos efectos, estos tienen aparejado un alto costo.

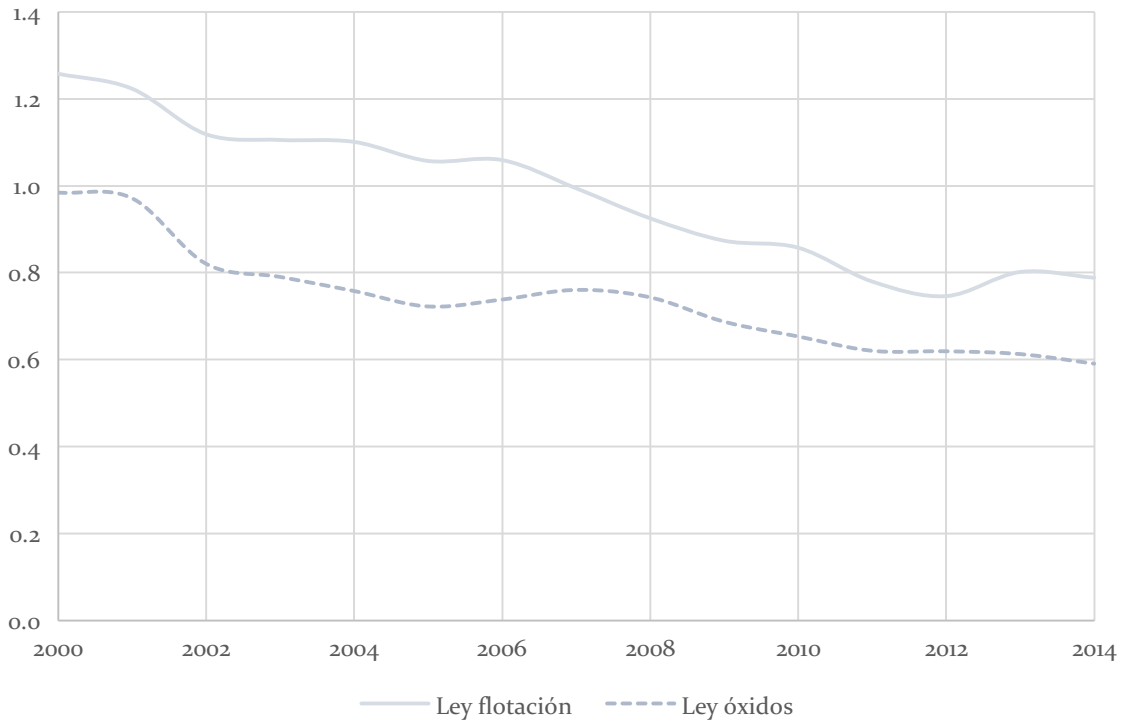
A partir de los datos a nivel de faena que recolecta Cochilco[27] se calcula el promedio de la ley asociada al material mineral procesado por flotación, y lixiviación, los procesos necesarios para extraer cobre de mineralizaciones de cobre en sulfuros y óxidos respectivamente. La Figura 2.5 muestra que en ambos casos la ley ha presentado un declive permanente. En los minerales procesados por flotación (sulfuros), la ley resulta ser mejor que aquellos asociados a minerales lixiviables (óxidos). Esto último se debe principalmente a que gran parte de los yacimientos antiguos existentes en el país iniciaron la explotación de minerales lixiviables a inicios de la década de los 90.[28]

En 2000 la ley asociada al proceso de flotación (sulfuros) era casi un 28% mayor que la ley asociada a los minerales lixiviables, mientras que para 2014 dicha brecha aumentó a 33%, a pesar de la fuerte caída en ambos. Durante el período 2002-2005 esta diferencia alcanzó una brecha de 44% debido principalmente a una mayor caída en la ley asociada al proceso de lixiviación (óxidos) asociada a la edad promedio de dichos yacimientos. Este dato resulta relevante para nuestro análisis de productividad agregada considerando que cerca del 34% de la producción se realizó a través de dicho proceso durante el período 2000-2014, a diferencia del 16% del período 1990-1999.

Figura 2.5 Ley promedio por faena en la gran minería del cobre

[27] Los datos utilizados fueron 26 observaciones representativas de más del 90% de la producción actual de cobre en Chile, incluyendo: Andacollo, Andina, Candelaria, Cerro Colorado, Chuquicamata, Collahuasi, El Abra, El Soldado, El Teniente, El Tesoro, Escondida, Esperanza, Gabriela Mistral, Lomas Bayas, Los Bronces, Los Pelambres, Manto Verde, Mantos Blancos, Michilla, Ministro Hales, Pucobre, Quebrada Blanca, Radomiro Tomic, Salvador, Spence, y Zaldivar.

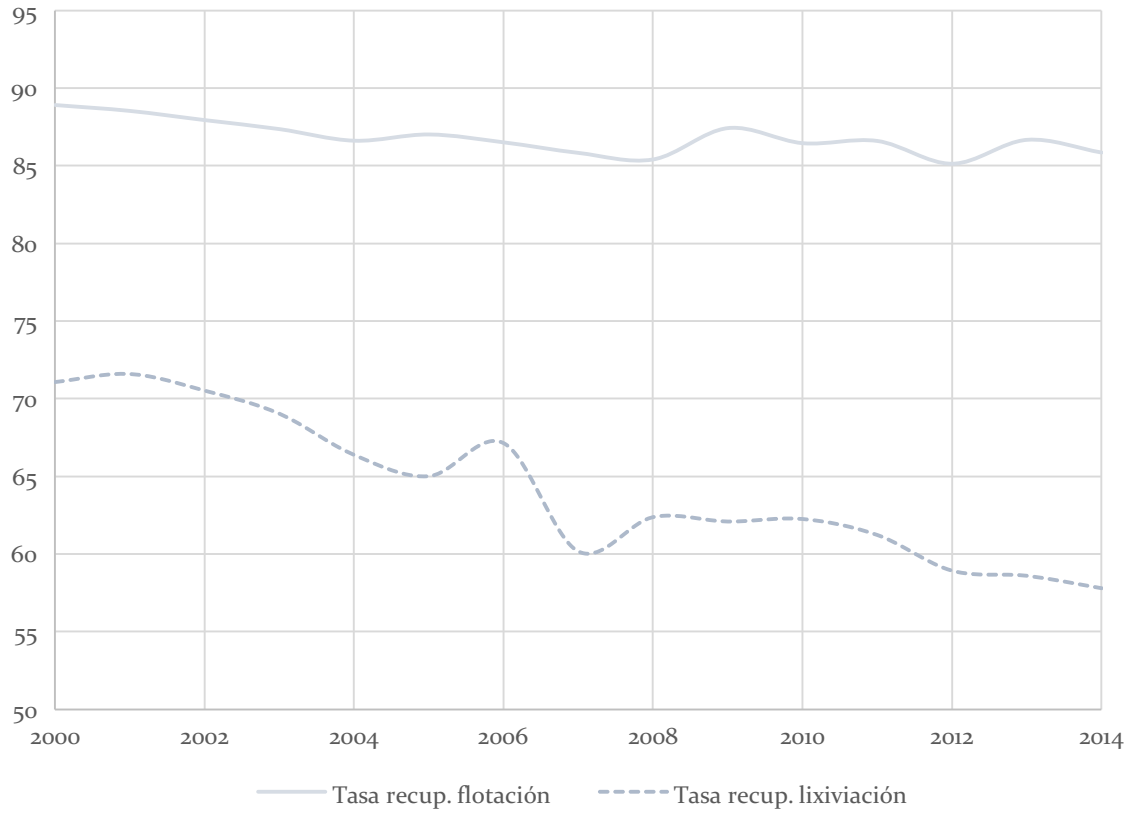
[28] Hay que recordar del capítulo 1, que el proceso de extracción y obtención de cobre se inicia por lo general con óxidos, debido a que son los primeros bolsones de minerales que se encuentran más cercano a la superficie del yacimiento. Posterior a su consumo es cuando la faena pasar a procesar sulfuros.



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la tasa promedio de recuperación (es decir, la capacidad de extraer el mineral de cobre del material mineral) y tomando el 2000 como año base, la recuperación asociada al proceso de flotación (sulfuros) presenta una caída del 3%, mientras que la caída asociada al proceso de lixiviación (óxidos) es de un 18% (ver Figura 2.6). Nuevamente, siendo la fracción de producción en base a lixiviación en promedio un 34% de la producción total, esta tendencia a la baja en la recuperación afecta las medidas agregadas de productividad.

Figura 2.6 - Tasa promedio de recuperación por faena en la gran minería del cobre

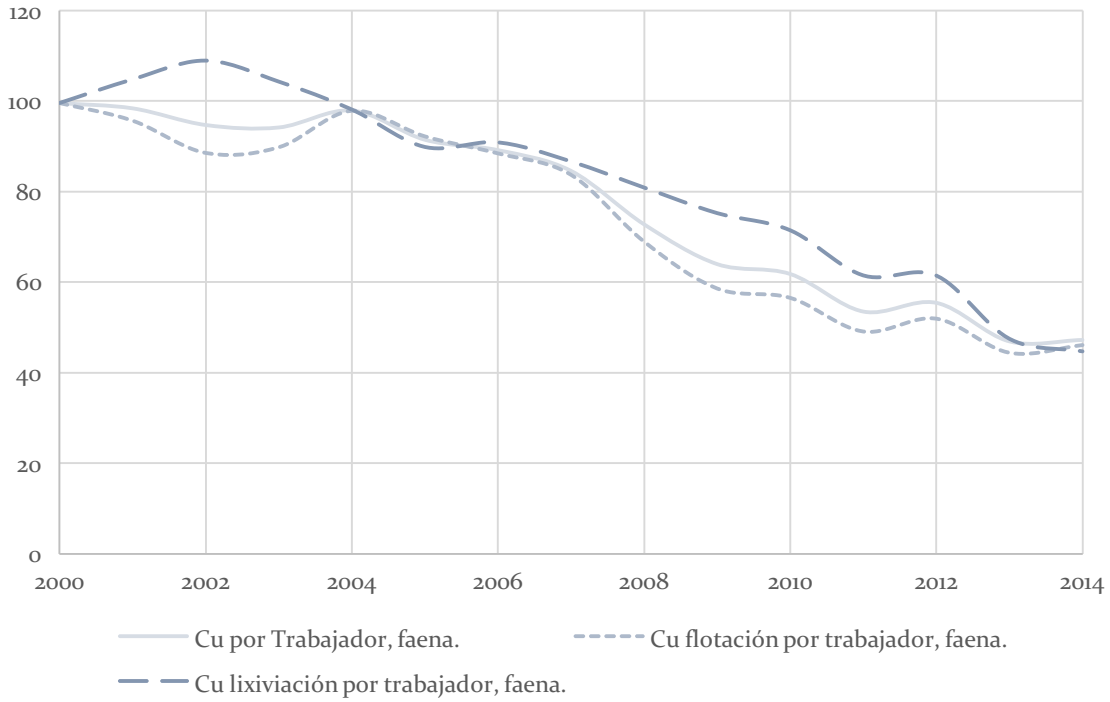


Fuente: Elaboración propia

Con estos antecedentes resulta necesario considerar en el análisis el impacto que tiene en la productividad del sector la pérdida de eficiencia en dichos procesos. Como se mostró, el cobre obtenido a través del proceso de lixiviación se caracteriza por: (i.) representar entre el 30-39% de la producción total, porción que irá en disminución a medida que los yacimientos de óxidos envejezcan, y el material mineralizado en forma de sulfuros aflore; (ii.) provenir de yacimientos con menor ley relativa a yacimientos de sulfuros, los que además bajaron un 40% su ley en un período de 15 años (de 1% a 0.6% promedio); y (iii.) tener una tasa de recuperación inferior a la de sulfuros, la que además se redujo de 71% a 58% en el período de análisis.

La Figura 2.7 muestra los índices de productividad laboral promedio por faena asociados a la producción total de cobre refinado equivalente, la producción de concentrados (sulfuros), y la producción de cátodos electro-refinados (óxidos por vía de lixiviación). En tendencia, todos los índices de productividad han caído entre un 45-48%.

Figura 2.7 - Índice productividad laboral

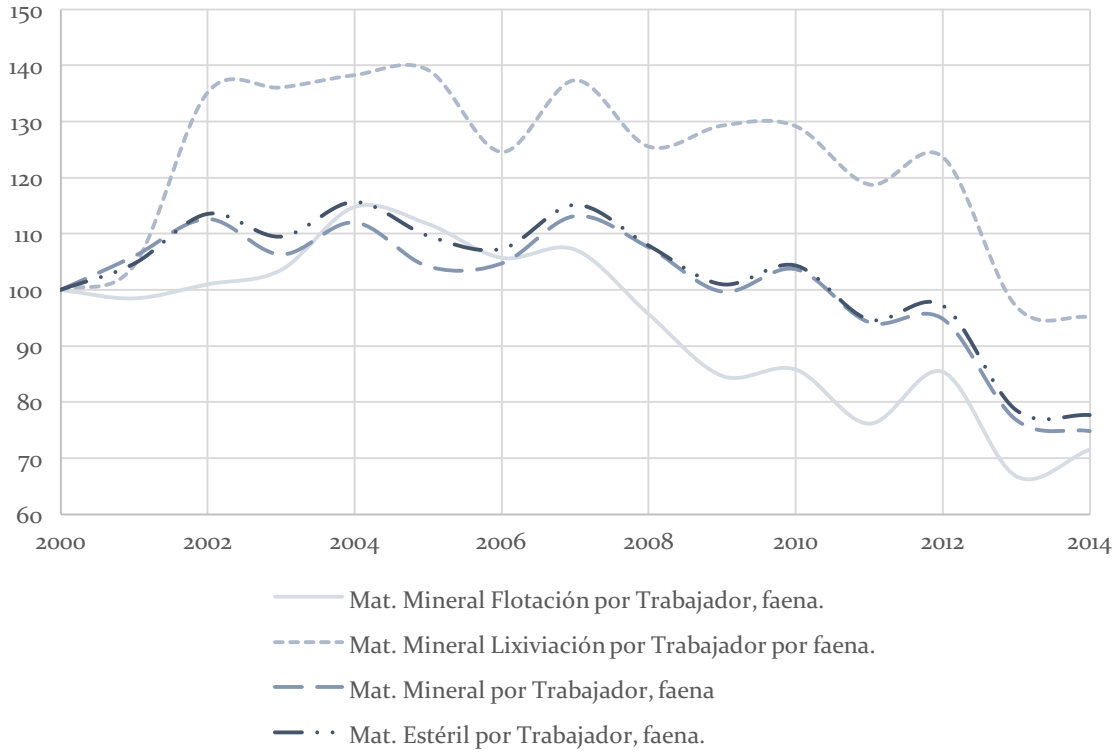


Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó, el análisis de productividad usando indicadores de producción de cobre fino equivalente contamina la medida de productividad de los factores, producto del deterioro por sobre un 40% en la ley promedio de los yacimientos. En contraste con el patrón anterior, de permanente caída en la productividad asociada a

la producción de cobre fino equivalente, al hacer el mismo análisis para el mineral extraído (las rocas que salen de la mina a ser procesadas), tanto en yacimientos de sulfuros como de óxidos, se observa un incremento en la productividad laboral (ver Figura 2.8). Específicamente, las toneladas de mineral extraído para lixiviación por trabajador se incrementaron un 38% entre 2000-2004, mientras que para el resto del período se observa una caída de 43%, muy pronunciadas en los dos últimos años del período de análisis. Respecto del 2000 la variación termina siendo una caída de 5%. En el caso de las toneladas por trabajador que fueron destinadas a procesos de flotación, se observa un incremento de 15% para el período 2000-2004, mientras que para el resto del período se observa una caída de 43%. Respecto del 2000 la variación termina siendo una caída de 28%. A nivel agregado aumenta el material extraído por trabajador un 16% entre 2000-2004, para luego caer un 38% en el período 2004-2014. Para el período 2000-2014 se observa una caída de 22%.

Figura 2.8 – Índice Productividad Laboral por Tipo de Proceso



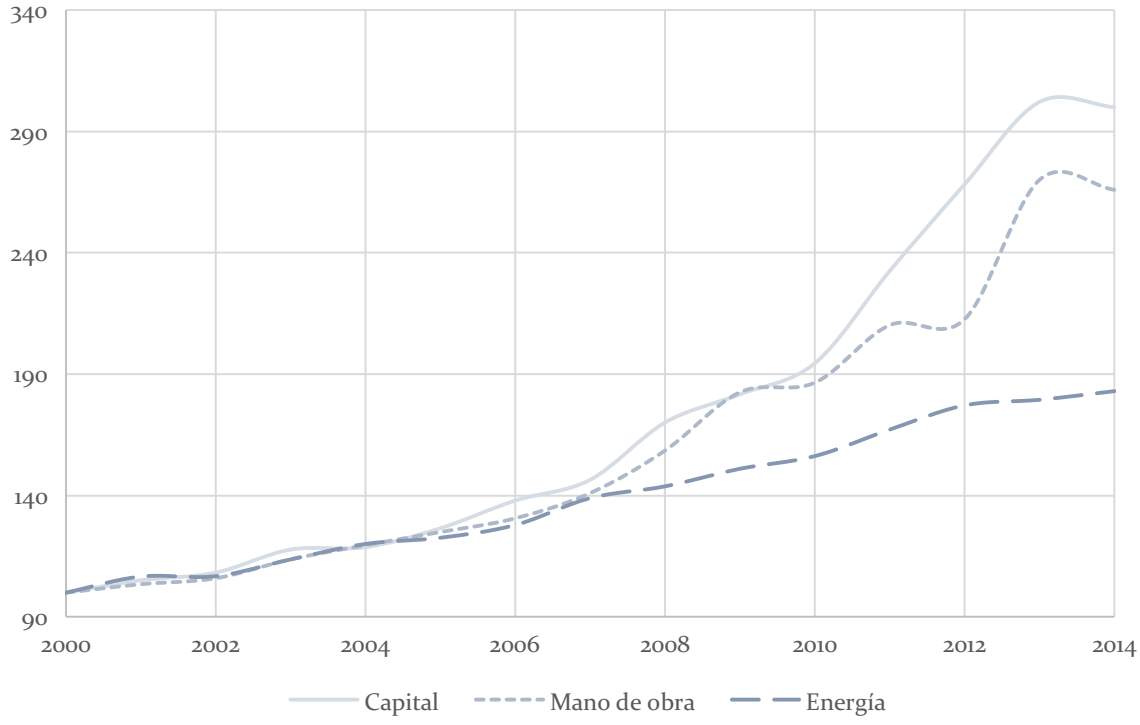
Fuente: Elaboración Propia

Es notorio el quiebre en estas medidas en torno al año 2007, asociado al nivel de empleo que demanda el sector a partir de dicho período (ver Figura 2.9). Usando datos de Cochilco se puede analizar la evolución de algunos insumos claves en el proceso productivo durante el ciclo de precios, en particular energía, capital y mano de obra. Se observa que hasta 2005 la industria reaccionó aumentando significativamente el uso de todos los insumos, y que a partir de 2006 concentró sus esfuerzos en la inversión de capital y empleo. Esto en parte explica las cifras de productividad laboral vistas anteriormente, donde se muestran caídas significativas alrededor de 2007 (ver Figuras 2.1, 2.2 y 2.8). En términos agregados, para el

período 2000-2007 el nivel de empleo directo[29] del sector (gran minería del cobre) aumentó alrededor de un 40%, mientras que para el período 2007-2014 dicho incremento fue de un 88%. Es decir, en el período de análisis las faenas de la gran minería de cobre más que duplicaron (128%) su dotación de personal propio y de terceros. La inversión en capital fue aún mayor[30], pues aumentó un 47% entre 2000 y 2004, y se duplicó (105%) entre 2004 y 2014 para un total de 152% (ver Figura 2.9). En el caso del consumo de energía (eléctrico y de combustible) se observa un patrón mucho más estable respecto a la tasa de crecimiento, que implicó un incremento de 83% para todo el período de análisis. En definitiva, entre 2000 y 2014 el sector aumentó un 22% la producción de cobre fino, para lo que requirió un 83% más de energía, más del doble del empleo (128%), y crecientes niveles de capital (152%).

[29] Trabajadores propios y de contratistas.
[30] Es importante señalar que las cifras de inversión pueden sobrestimar el capital efectivamente utilizado en la producción, puesto que los plazos de maduración de las inversiones en el sector son largos.

Figura 2.9 – Índice de factores productivos (Base 2000 = 100)

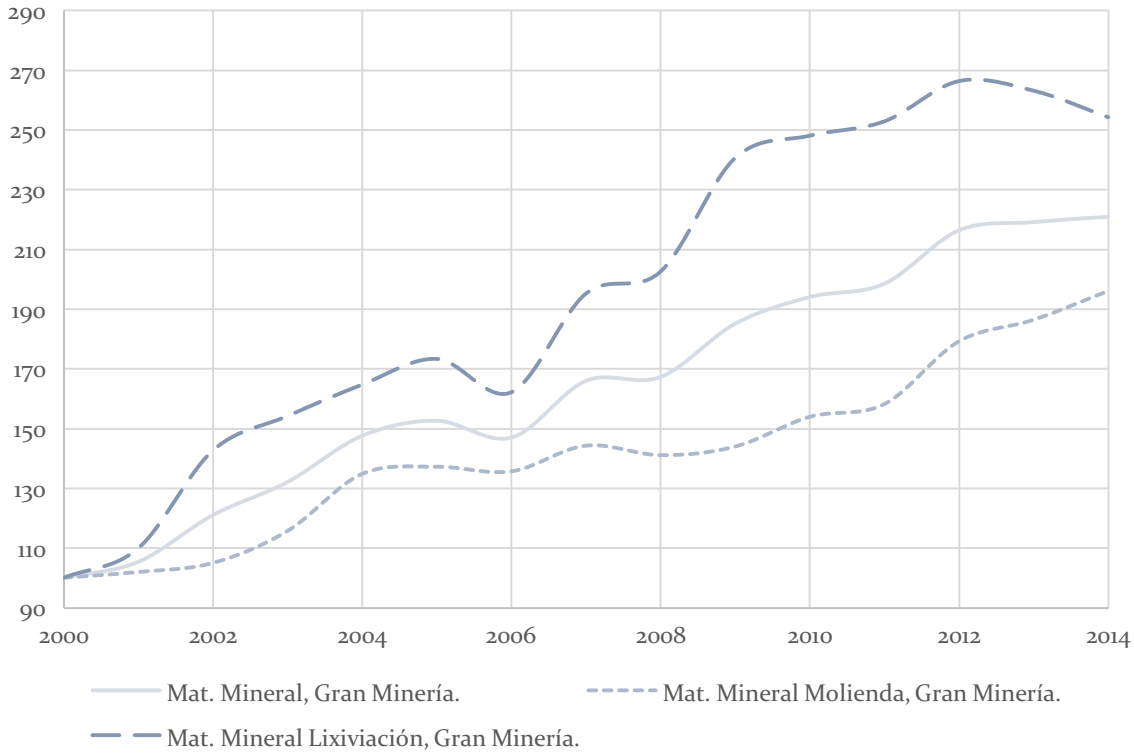


Fuente: Elaboración propia

La diferencia entre este sector y otros no dependientes de recursos naturales es que además de capital, trabajo y energía, un insumo fundamental en la producción de cobre es el mineral extraído para ser procesado, es decir las rocas que se procesan. La Figura 2.10 muestra la evolución del mineral procesado por la gran minería del cobre, con un incremento significativo en el material lixiviable (óxidos) de 150% para todo el período, mientras que para el material de molienda y flotación (sulfuros) el incremento acumulado es de 96%. Estas cifras refuerzan la idea que el uso de los factores se pudo haber concentrado en los procesos asociados a lixiviación más que en el proceso de flotación, con un impacto en los niveles de productividad agregados. Pero en definitiva llevan a concluir que el 22% de aumento en la producción de cobre fino requirió un aumento muy importante (más

del doble) del mineral extraído de minas y procesado en faenas, producto de la caída de más de un 40% en la ley promedio de los yacimientos chilenos.

Figura 2.10 - Índice de material utilizado (Base 2000=100)



Fuente: Elaboración Propia

En síntesis, las dinámicas productivas dan cuenta de lo siguiente: la minería del cobre incrementó su producción entre 2000 y 2004 en un 17% para luego mantenerse estable en el período 2004-2014 pese a la entrada de nuevos yacimientos. La productividad laboral medida como toneladas de cobre fino por trabajador cayó en un 50% desde el 2000 al 2014, pero al medirlas por mineral extraído por trabajador se observa que la caída es de 17%. Es consecuencia directa de la extracción de material mineral la caída en las leyes lo cual representa un

desafío permanente para las faenas debido a que se obtiene menos cobre por la misma cantidad de insumos productivos (capital y trabajo). En efecto, la ley promedio cayó alrededor de un 40%, tanto para el caso de los sulfuros como de óxidos. Parte de la respuesta fue incrementar el número de insumos productivos, llegando casi a duplicar, tanto el nivel de empleo como el del stock de capital entre 2007-2014 respecto al período 2000-2007.

2.2.2. Metodología[31]

El uso de medidas parciales de productividad utilizadas en la subsección anterior, como productividad laboral, es fácil de interpretar pero solo consideran un factor (trabajo) y no toman en cuenta que hubo que invertir en otros factores productivos como maquinaria y equipos (capital). En breve, parte de los cambios en productividad laboral pueden deberse a cambios importantes en otros factores como Capital o la Ley del mineral. De ahí radica la importancia realizar una estimación de Productividad Total de Factores que permita dar cuenta de los factores no considerados en medidas parciales de productividad.

Con la teoría de la firma como base para el marco teórico, se utilizó una función del tipo Cobb-Douglas para describir el proceso productivo. Considerando que la producción depende exógenamente de la calidad del recurso natural (ley del mineral)[32] la función de producción a nivel de operación viene descrita por la siguiente expresión:

$$Y_{i,t} = A_i \left(K_{i,t}\right)^{\alpha} \left(H_{i,t}\right)^{\beta} \left(L_{i,t}\right)^{\gamma} \exp\left(\xi_{i,t}\right)$$

[31] La presente sub-sección es una síntesis de la metodología utilizada. Revisar CNP y Cochilco (2016) para mayor detalle.
[32] Este factor exógeno determina la proporción del material procesado por la operación que terminará siendo el producto final. Manteniendo constante el resto de los factores, a mayor ley del mineral se puede generar mayor producción.

Donde A_i captura la productividad total de factores de la faena i, mientras que los parámetros α, β y γ representan[33] las tecnologías asociadas al capital físico, la mano de obra[34] y al recurso natural,[35] respectivamente. Por último, el término $\xi_{i,t}$ (un residuo) captura el resto de los posibles efectos capaces de influenciar la producción, tales como *shocks* productivos, *shocks* de precios, ineficiencias, errores de medición, etc. Para el análisis resulta necesario considerar la existencia de rezagos entre la inversión en capital y su impacto en la producción[36]. Es decir, el período en el que se contabiliza la inversión en capital físico no necesariamente es aquel donde también está siendo utilizado. Esto significa que en la función de producción descrita previamente, en vez de utilizar el nivel de capital del período en cuestión ($K_{i,t}$) nuestra estimación lo rezaga por un año (es decir, $K_{i,t-1}$).

Específicamente, cada parámetro α, β y γ representa la elasticidad producto[37] respecto al insumo en cuestión. El valor que tome el parámetro responde la siguiente pregunta: ¿cuánto aumenta la producción si se aumenta en 1% el uso de dicho insumo, manteniendo todo lo demás constante?

Nuestra especificación replica la metodología UAI-CORFO (2014), y además considera la propuesta de Topp et al (2008). A diferencia de trabajos previos,[38] se utiliza simultáneamente la ley del mineral y el consumo energético a nivel operacional, y se trabaja con una medida real de producción y no el valor agregado. Nuestra especificación incorpora la ley del mineral como un insumo en la función de producción, mientras que el consumo energético es utilizado para corregir la intensidad de uso del capital físico.

[33] Específicamente, cada parámetro representa la elasticidad producto respecto al insumo en cuestión. El valor que tome el parámetro responde la siguiente pregunta: ¿Cuánto aumenta la producción si se aumenta en 1% el uso de dicho insumo, manteniendo todo lo demás constante?
[34] Medido como nivel de empleo (cantidad de trabajadores).
[35] En el caso del recurso mineral se utilizan métricas asociadas a: (i.) la ley del mineral; (ii.) al nivel de reservas, o (iii.) la producción acumulada.
[36] Ver Syed et al. (2013) y Topp et al. (2008).
[37] Refiere a la sensibilidad en la producción al aumentar la cantidad de insumos.
[38] Cochilco (2013) o Syed et al. (2013).

Se estimó mediante la metodología de Máxima Verosimilitud,[39] incluyendo términos que permiten descomponer la productividad en una tendencia de largo plazo y perturbaciones (*shocks)* productivos de corto plazo. También se incorporaron otras extensiones como: (1) la posibilidad que la tendencia de largo plazo siga un patrón no lineal, (2) un modelo adicional (proveniente de la literatura de frontera estocástica) incorporando un nuevo término de error que captura ineficiencias –es decir, distancia respecto a la frontera de posibilidades de producción, y (3) un modelo con persistencia de los *shocks*, en consistencia con el supuesto de lo intensivo en capital físico que es el sector y su dependencia a un factor exógeno como la calidad del recurso natural. De esta forma los *shocks* (situación no considerada en la estrategia de extracción) pueden afectar la capacidad productiva de manera contemporánea y persistir durante un determinado tiempo. Por último, se estimaron especificaciones que consideraron tendencias propias a cada faena. Y además, modelos que consideran la relevancia que tiene la energía en el proceso productivo incorporando dicha variable de manera directa en el modelo, y no como un factor de corrección al uso de capital.

2.2.3. Resultados

La información utilizada para las estimaciones proviene de Cochilco a partir de la información que solicita anualmente a cada una de las operaciones activas en Chile. Los datos son a nivel de faena de la mediana y gran minería del cobre entre el año 2000 y 2014.[40] Las variables a utilizar en el análisis son: (i.) toneladas métricas de cobre fino equivalente ($Y_{i,t}$); (ii.) capital físico en millones de dólares de 2013 ($K_{i,t}$); (iii.) nivel de empleo ($H_{i,t}$); (iv.) consumo de energía[41] en GWh ($E_{i,t}$); y (iv) ley de cobre –promedio anual ($L_{i,t}$). Se cuenta con un panel des-balanceado considerando que algunas de las faenas que se incluyen en la muestra entraron en

[39] Se utiliza Máxima Verosimilitud por tener como una de sus propiedades estadísticas el que los valores estimados mediante esta metodología son consistentes, es decir, que los valores estimados de los parámetros converjan (sean iguales) al valor verdadero a medida que el número de observaciones utilizadas para el cálculo crece.
[40] Representan alrededor del 95% de la producción total de cobre.
[41] Eléctrico y de combustible.

operación después de 2000.[42] En todas las regresiones se incluye una variable dicotómica por faena.

Entre los modelos considerados, aquellos que incorporaron variables de tendencia mostraron un mejor desempeño que el modelo simple. En cada estimación la incorporación de la tendencia resultó significativa y negativa. Es decir, se confirma que la productividad multifactorial (PTF) de una faena representativa de la muestra tiende a deteriorarse a medida que avanza el tiempo. Este deterioro en la capacidad productiva de los factores en su conjunto persiste a pesar del ajuste por los factores endógenos a la firma (capital y trabajo), y factores exógenos (ley del recurso mineral), confirmando que otros factores explicarían parte del deterioro.[43]

Con el objetivo final de seleccionar la mejor estimación, y analizar el desempeño de los modelos, se utilizaron distintos criterios de información[44] (test estadísticos). Los test de AIC y AICc sugieren que el modelo que denominaremos como A que considera persistencia en los *shocks*[45] productivos y una tendencia común (lineal en el logaritmo de la PTF) para todas las faenas es el que mejor ajusta[46]. Los test BIC y HQC sugieren que el modelo que denominaremos B, que considera como única diferencia una tendencia lineal en PTF a cada faena, es el que mejor ajusta. En ambos casos se tiene que la función de producción que mejor específica el proceso es aquél que considera como insumos la mano de obra y la energía, y como factor exógeno la ley del mineral.[47] Esto en concordancia con los argumentos esgrimidos por Topp et al (2008) acerca del uso efectivo del capital físico,[48] y por otro lado, la propuesta de Costello (1993) asociado a la utilización del consumo de energía como aproximación del nivel de utilización del capital.

---

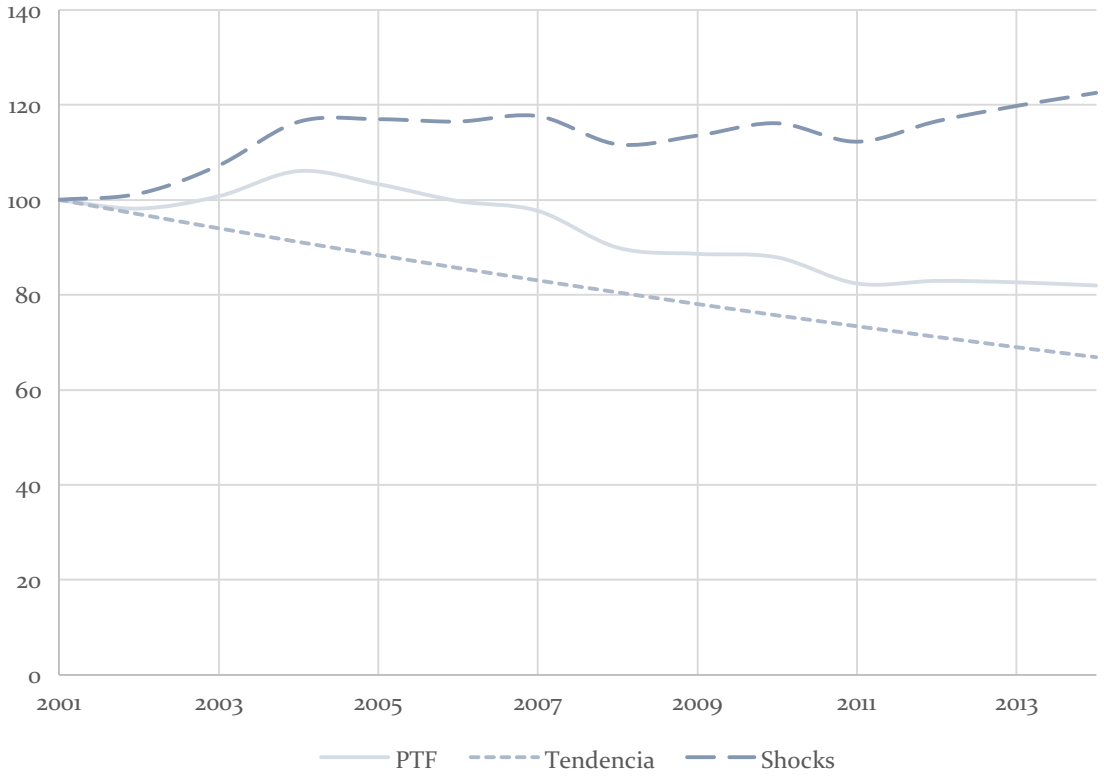
[42] Los datos utilizados fueron 26 observaciones representativas de más del 90% de la producción actual de cobre en Chile Andacollo, Andina, Candelaria, Cerro Colorado, Chuquicamata, Collahuasi, El Abra, El Soldado, El Teniente, El Tesoro, Escondida, Esperanza, Gabriela Mistral, Lomas Bayas, Los Bronces, Los Pelambres, Manto Verde, Mantos Blancos, Michilla, Ministro Hales, Pucobre, Quebrada Blanca, Radomiro Tomic, Salvador, Spence, Zaldivar.
[43] Endógenos en el sentido que capital y trabajo son determinados por la faena, mientras que exógeno en el sentido que la ley del recurso mineral es un factor determinado por la naturaleza.
[44] Akaike (AIC), Bayesiano (BIC), Akaike con corrección en muestras finitas (AICc), y Hannan-Quinn (HQC).
[45] Bajo el supuesto que se distribuyen t.
[46] Los modelos A y B corresponden a los modelos 19c y 17c respectivamente en CNP y Cochilco (2016).
[47] Es decir, se excluye capital físico.
[48] Rezagos de la inversión en productividad.

En ambos modelos la PTF crece hasta el año 2004. Además, la tendencia negativa (ineficiencia) es capaz de cancelar el efecto positivo de los *shocks* productivos a partir del año 2006 y 2007 donde la PTF empieza a caer respecto al año base (2000).

Específicamente, se tiene que bajo el modelo A (con tendencia común entre faenas) la PTF se incrementó un 8% durante el período 2000-2004, para caer 20% en el período 2004-2014, con una contracción de 12% en todo el período de análisis (ver Figura 2.11). Este resultado indica que la capacidad productiva (en su conjunto) empeoró, es decir en 2014 se es más ineficiente respecto del año base (2000). Dicho de otro modo, de haberse mantenido la misma combinación de insumos y el mismo nivel de mineral entre el 2000 y el 2014 la producción en 2014 habría sido 12% menor que en 2000.

Al descomponer en tendencia y *shocks* se observa que el primer componente de la productividad presenta una contracción cercana a 25%, lo que significa una pérdida de productividad de 2.2% anual en promedio durante el período de análisis. Por otro lado los *shocks* muestran un incremento de 18% en la PTF. Es decir, a una misma combinación de factores y ley del mineral la producción debiese caer en promedio 2.2% anual o un 25% en el período. Esta caída es en parte compensada por la existencia de shocks productivos (positivos) que reducen la caída a un 0.9% anual. El componente de tendencia presenta un claro patrón negativo, por ejemplo, entre 2000-2010 la tendencia cayó a una tasa promedio anual de 2.3% mientras que para el período 2011-2014 cayó a una tasa promedio de 1.6%.

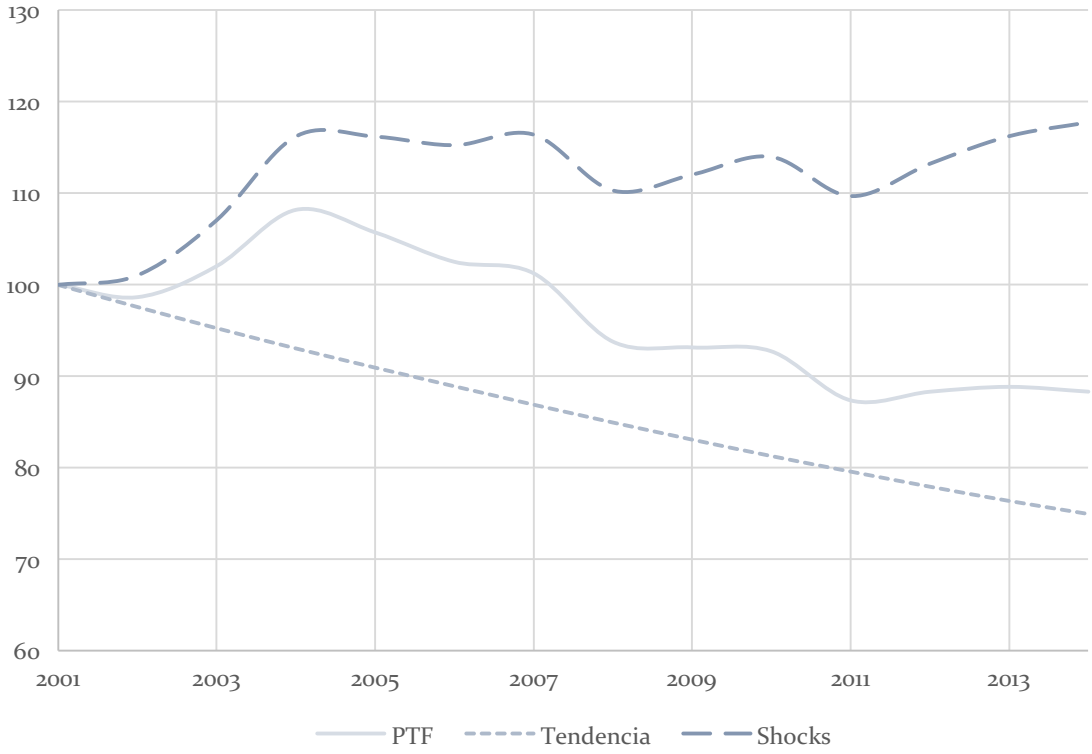
Figura 2.11 – Descomposición de la PTF según modelo A



Fuente: Elaboración propia

Bajo el modelo B (tendencia individual a nivel de faena) la PTF muestra un incremento de 6% para el período 2000-2004, y una contracción posterior a 2004 cercana al 24%, para una caída de la PTF de 18% entre 2000 y 2014 (ver Figura 2.12). Al descomponer la productividad en su tendencia y *shocks* se observa que el componente estructural (tendencia) arroja una caída cercana a 33%, mientras que el componente transitorio (shocks) presenta un incremento de 23%.

Figura 2.12 – Descomposición de la PTF según modelo B



Fuente: Elaboración propia

2.3. Análisis

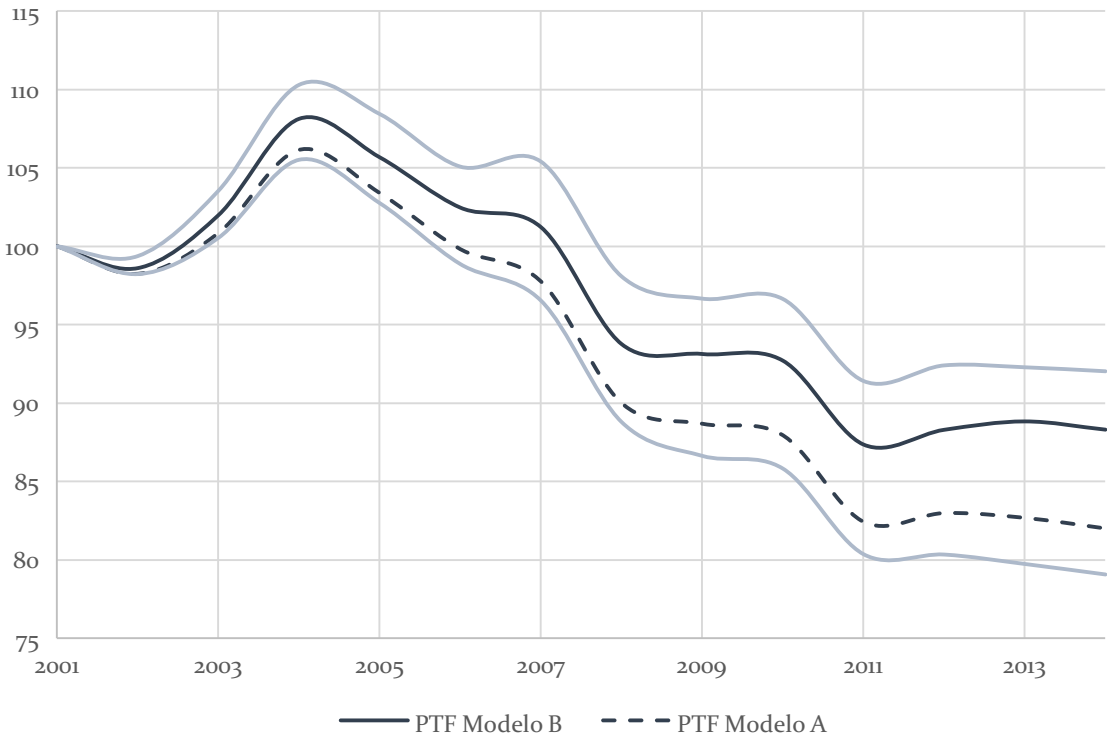
Esta sección busca estimar la productividad en la gran minería del cobre chileno a nivel faena durante el período denominado súper ciclo (2000-2014), descomponiendo entre factores estructurales (tendencia) y transitorios (shocks). Se trabajó con un panel desbalanceado de información a nivel de faenas[49] de la mediana y gran minería que representan alrededor de 95% de la producción total [50], y se estimaron distintos modelos mediante Máxima Verosimilitud.

Todas las estimaciones muestran un patrón similar: una tendencia negativa de la PTF entre 2000 y 2014, con la medida de productividad multifactorial reduciéndose

[49] Los datos utilizados fueron 26 observaciones representativas de más del 90% de la producción actual de cobre en Chile Andacollo, Andina, Candelaria, Cerro Colorado, Chuquicamata, Collahuasi, El Abra, El Soldado, El Teniente, El Tesoro, Escondida, Esperanza, Gabriela Mistral, Lomas Bayas, Los Bronces, Los Pelambres, Manto Verde, Mantos Blancos, Michilla, Ministro Hales, Pucobre, Quebrada Blanca, Radomiro Tomic, Salvador, Spence, Zaldivar.
[50] Faenas entre 19 ktons y 1.480 kton

entre 8-21% (según la especificación). Los modelos que presentan un mejor desempeño, según criterios de información, muestran caídas en un rango de 12-18% (ver Figura 2.13). Considerando el sub período 2004-2014 (del nivel más alto al más bajo en términos de productividad) la caída fluctúa entre 18 y 24% durante la última década.

Figura 2.13 – Estimaciones de PTF



Fuente: Elaboración propia

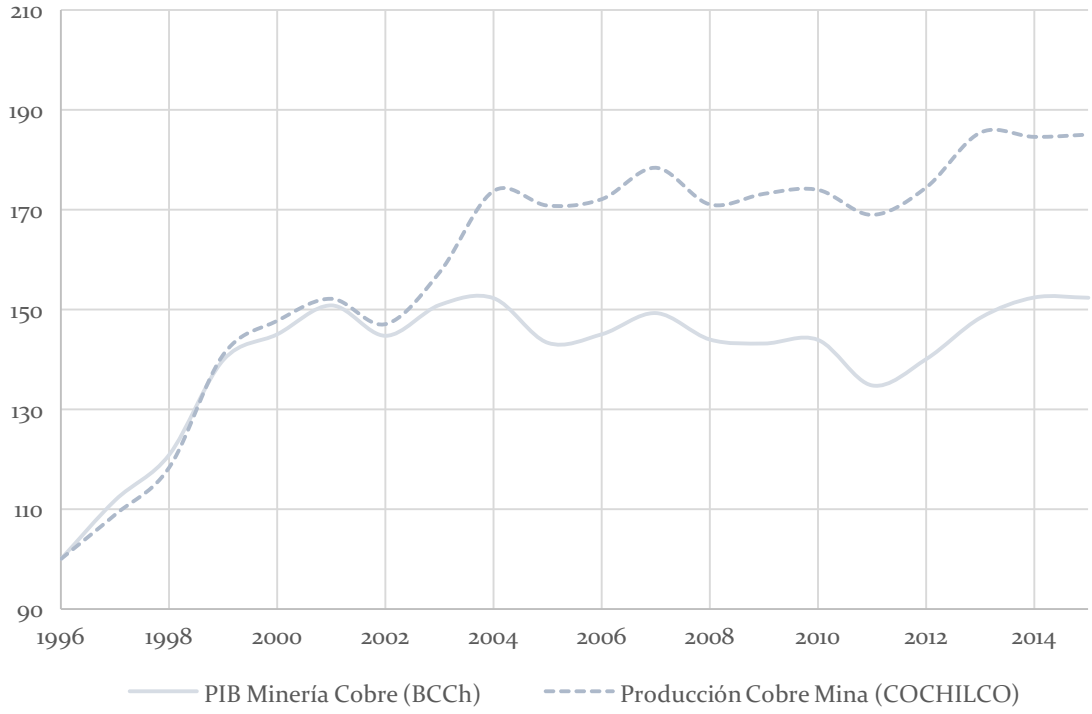
Estos resultados son consistentes con la literatura existente en términos de la tendencia negativa de la PTF minera, pero difieren significativamente en los niveles. Específicamente, la mayoría de los estudios existentes sobreestiman la caída en la productividad del sector, siendo el estudio de Cochilco (2014) el que presenta órdenes de magnitud similares al nuestro.

Entre las razones de dichas diferencias vale la pena mencionar la diferencia en los datos, pues algunos de los estudios utilizan información agregada del sector (y no a nivel de faena), y además con indicadores de valor agregado (y no de producción

real de cobre). Esto último resulta particularmente importante al considerar que durante la segunda mitad del período de súper ciclo (a partir de 2004) muchos de los insumos vieron incrementado significativamente sus costos, lo que redujo significativamente el valor agregado, a pesar que la producción total se mantuvo estable (ver Figura 2.14). Esto explica en parte porqué dichos estudios obtienen caídas de productividad del orden de 60% a partir de 2004 (Corbo y González (2014), De Solminihac et al. (2014), UAI-CORFO (2014)). Más cercano a nuestros resultados, utilizando información a nivel de faena y correcciones por ley del mineral, está Cochilco (2013) que estima una caída de 57% de la PTF para el período 2003-2011, que al corregir por ley disminuye a 40%.

En el estudio de Cochilco (2014), que utiliza información a nivel de faenas y variables reales (producción), se estiman caídas de la PTF minera del orden del 20% para el período 2000-2013, y de hasta 25% para el período 2004-2013. Nuestros resultados refuerzan los obtenidos por Cochilco (2014).

Figura 2.14 – Diferencias entre Valor Agregado y Producción Real



Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó, una hipótesis generalmente aceptada propone que la caída de la PTF en la minería del cobre tiene como principal causa la reacción de las compañías al llamado súper ciclo de precios. El incremento real de más de 200% en el precio de la libra de cobre entre 2000 y 2007 indujo un proceso que priorizó el flujo de producción a su capacidad máxima, por sobre otros objetivos. Considerando las características del sector,[51] esto último implicó relegar criterios de eficiencia que podían reducir la tasa de aumento de la producción en el corto plazo, aun cuando fuera beneficioso en el largo plazo.[52] Entonces, la forma en que el sector fue capaz de mantenerse alrededor de su meta de aumentar la producción a partir de 2004 fue

[51] Intensivo en capital, con períodos extensos de puesta en marcha de la operación.
[52] La implementación de mejoras (eficiencia) trae consigo un riesgo e incertidumbre. El costo de oportunidad de dicho riesgo es parar o reducir el flujo de producción. Igualmente, se aceptan condiciones laborales distintas a períodos de precios normales.

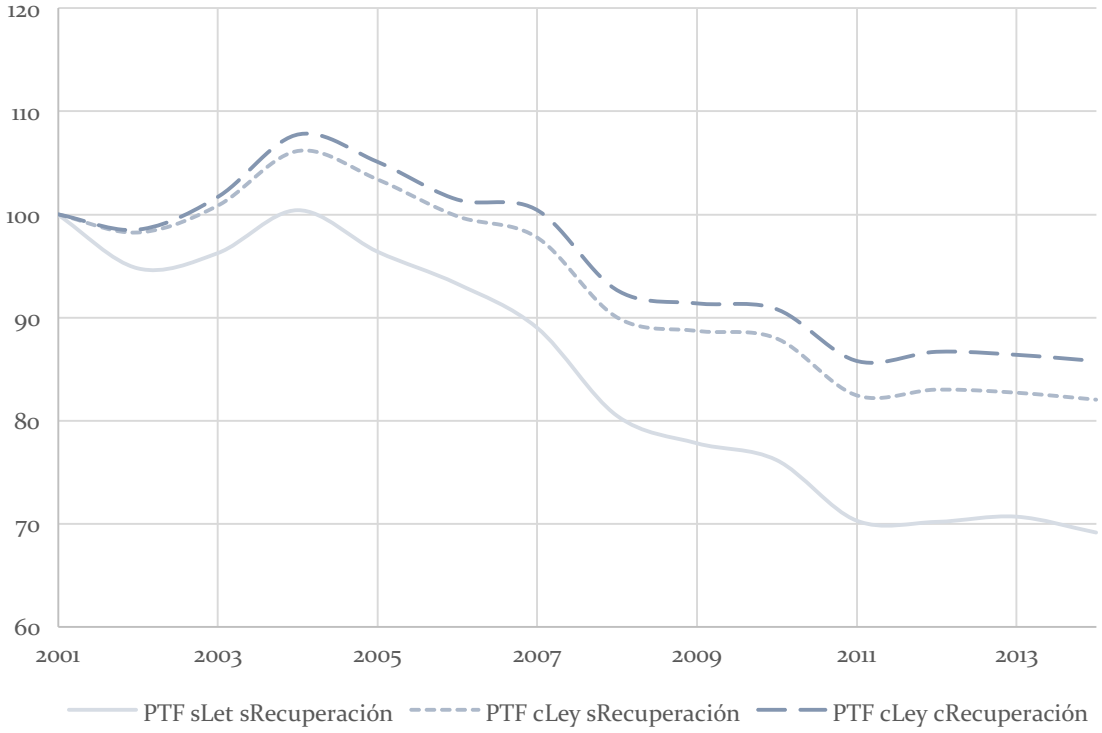
mediante ajustes factibles de corto plazo, pero a costos crecientes en términos económicos y de eficiencia. El sector fue capaz de hacer esto dada la holgura financiera que implicó el súper ciclo.

Como una forma de validar esta hipótesis se puede observar la Figura 14, que presenta el efecto de la tasa de recuperación sobre la productividad. La tasa de recuperación (cuánto cobre se extrae del material mineral) es un factor endógeno, vale decir controlable internamente en cada operación, así por ejemplo un mayor tiempo de procesamiento, mayor grado de trituración del mineral por medio de más cantidad de energía en tronadura o molienda, mayor uso de reactivos, etc., pueden aumentar la tasa de recuperación. Primero, obsérvese que al incorporar al modelo el factor geológico asociado a la ley del mineral (exógeno, modelo A), la caída de la productividad para todo el período pasa de 30% a 15%, vale decir la mitad de la caída de la productividad original (30%) se la imputábamos a un factor no controlable por la empresa. Por tanto, la caída efectiva de la PTF está alrededor de 15%, y se debe a factores controlables por la empresa.

Por ejemplo, al considerar en la estimación los factores del proceso productivo mismo,[53] como la tasa de recuperación (endógena), se observa una contracción adicional del 3% en la PTF. Esta cifra podría decirse es la pérdida de eficiencia tolerada en el período de "súper ciclo", puesto que si la eficiencia (en lugar de la producción como postula la hipótesis considerada) hubiese sido el criterio más importante, la PTF habría caído un 12% en lugar de un 15%. No obstante, en el corto plazo esta mejora de productividad podría haber atentado contra el margen, pues a grandes rasgos una mayor tasa de recuperación implica reducir el flujo de producción para ser capaz de obtener la mayor proporción de cobre posible, dada la ley del mineral.[54]

[53] Se incluye el logaritmo de la tasa de recuperación promedio anual de la faena en la función de producción.
[54] Por ejemplo, si la ley es del 1% de 100kg de material mineral, y la tasa de recuperación es del 90%, entonces la cantidad efectiva de cobre obtenido de los 100kg son 900gr y no 1kg, pues un 10% de cobre no se logra recuperar en el proceso.

Figura 2.15 – Efecto en la PTF de la ley del mineral y tasa de recuperación al modelo B



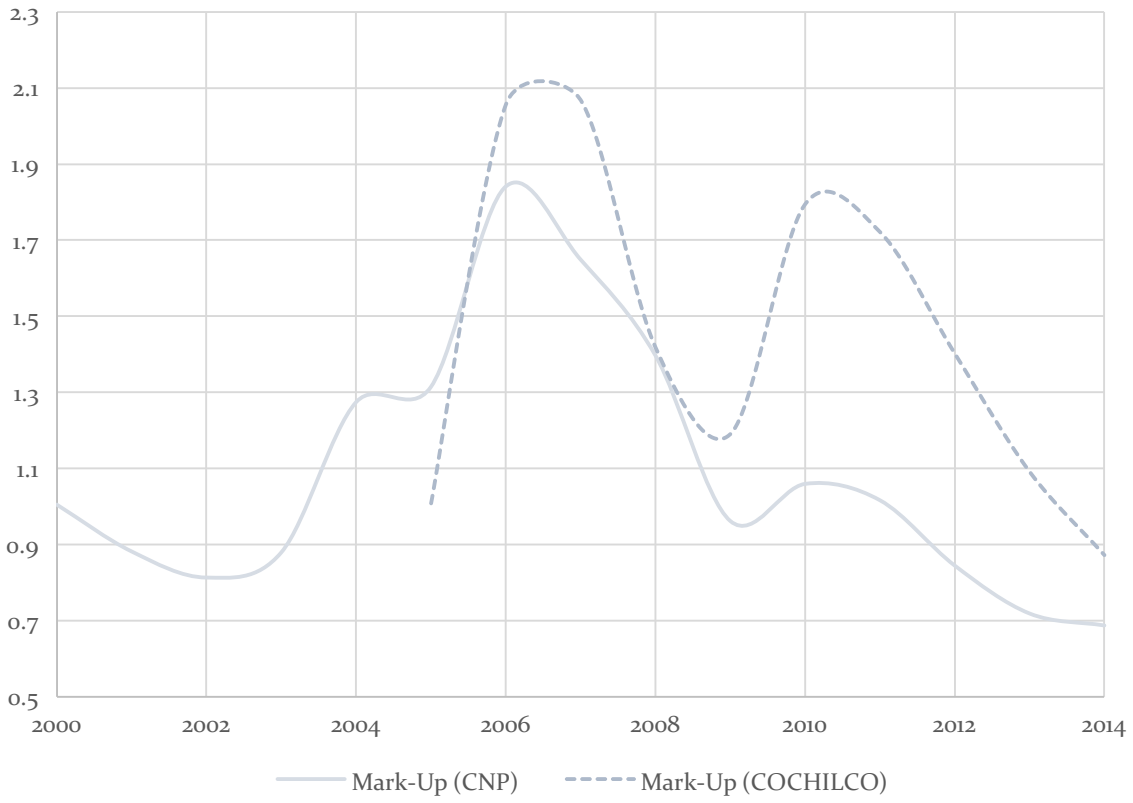
Fuente: Elaboración propia

Otra estimación que sustenta la hipótesis se observa de la Figura 15, que presenta la evolución del margen de ganancia estimado[55] y el margen de ganancia a partir de los datos de Cochilco (2015).[56] Estos elevados márgenes permitieron corregir el efecto negativo impuesto por la "ley del mineral" y el envejecimiento de faenas con mayor inversión en capital[57] y más dotación de trabajadores (ver Figura 2.9), y no mediante un mejor uso de los recursos disponibles o de nuevas tecnologías. Esto se tradujo en un incremento en los costos (subsidiado por un mayor precio) y mayores ineficiencias (no observables o no consideradas en ese momento por la racionalidad

[55] Para estimar el margen de ganancia del modelo B se utilizan los datos de Cochilco sobre la participación de la mano de obra sobre los ingresos junto con la estimación de la elasticidad producto de la mano de obra. Para mayores detalles ver Anexo de CNP y Cochilco (2016).
[56] En este caso se toman los valores del margen unitario de costo y ventas y se construye una aproximación de dicho margen de ganancia.
[57] No necesariamente el óptimo, pero sí más rápido de implementar.

económica). En el período 2006-2014 el precio de la mano de obra aumentó en un 60% mientras que el costo unitario de inversión[58] aumentó en un 150%. En tanto, en el período 2000-2014, aun cuando la producción creció un 22%, el ingreso del sector se incrementó en 300% gracias al alza de precios en el súper ciclo. En definitiva, de ser válida la hipótesis se puede decir que las faenas mineras priorizaron maximizar la extracción de mineral por sobre la productividad del proceso, y que dado los altos precios esta decisión resultó rentable.

Figura 2.16 – Estimación del margen de ganancia (*mark-up*)



Fuente: Elaboración propia y Cochilco (2015)

[58] Definido como el requerimiento de inversión (el CAPEX) de la cartera de proyectos vigente de cada año dividido por la capacidad de producción anual de dicha cartera.

Con el fin del llamado “súper ciclo” y la caída en los márgenes se abre espacio para reorganizar la industria, re-enfocarse en el control de costos y aumentar la productividad. Parte del efecto agregado de esta mejora será dado por el alza en las leyes de corte de extracción (al caer el precio no todos los yacimientos siguen siendo rentables), parte por la mayor productividad.

Contar con mayor información constante, comparable y validada a nivel de faena permitiría la formulación de mejores análisis y monitoreo sobre la productividad minera.

Hallazgo 2.1: *Existe una tendencia negativa en la productividad de la minería del cobre en los últimos 15 años independiente del modelo utilizado para la estimación. El orden de magnitud de las caídas para el período 2000-2014 se estima entre 12% y 18%. Durante el período 2000-2004 la productividad (PTF) aumentó en torno a 6% mientras que en el período 2005-2014 cayó entre 18% y 24%.*

Hallazgo 2.2: *Los mejores modelos son aquellos que capturan algunas de las características intrínsecas del sector minero como el rezago que demora la inversión en capital en convertirse en capacidad productiva. Por ello, el consumo de energía resulta una buena proxy de utilización efectiva de capital. Asimismo, la inclusión de la ley del mineral es fundamental para estimar con mayor precisión la productividad en minería.*

REFERENCIAS

Cochilco (2013). Una mirada a la productividad del sector minero en Chile.

Cochilco (2014). Productividad en la Industria Minera en Chile.

Cochilco (2015) Caracterización de los costos de la gran minería del cobre.

Comisión Nacional de Productividad y Comisión Chilena del Cobre (2016). Productividad en la Gran Minería del Cobre 2000-2014. Documento de Trabajo N°2.

Corbo, V., & González, R. (2014). Productivity and Economic Growth in Chile. In V. Corbo (Ed.), Growth Opportunities for Chile (pp.57-152). Santiago de Chile: Universitaria.

Costello, D. M. (1993). A Cross-Country, Cross-Industry Comparison of Productivity Growth. Journal of Political Economy, 101: 207-221.

De Solminihac, H., Cerda, R., & Gonzáles, L. E. (2014) Desarrollo y análisis de Indicadores para el Mejoramiento de la Productividad en la Minería en Chile. CLAPES-UC, Documento de Trabajo N 11.

Feenstra, R. C., Inklaar, R.,& Timmer, M. (2015). The next generation of the Penn World Table. American Economic Review, 105(10), 3150-82.

Jara, J. J., Pérez, P., & Villalobos, P. (2010). Good deposits are not enough: Mining labor productivity analysis in the copper industry in Chile and Peru 1992-2009. Resources Policy, 35(4), 247-256.

Ministerio de Hacienda (2015). Acta Comité Consultivo del PIB Tendencial. Dirección de Presupuestos. Agosto 2015.

Syed, A., Grafton, Q., & Kalirajan, K. (2013). Productivity in the Australian mining sector. Bureau of Resources and Energy Economics (BREE). (Ed.), BREE Discussion Paper Series. Bureau of Resources and Energy Economics, Canberra.

Topp, V., Soames, L., Parham, D. & Bloch, H. (2008). Productivity in the mining industry: measurement and interpretation. Productivity Commission Staff Working Paper, December 2008.

UAI-CORFO (2014). Evolución de la Productividad Total de Factores (PTF) en Chile, Boletín n 8. Universidad Adolfo Ibáñez/ Corporación de Fomento de la Producción. Santiago, Chile.

Capítulo 3

Benchmark

Comisión Nacional de Productividad

BORRADOR

El borrador del Capítulo 3 se publicará en la página web el próximo viernes 18 de noviembre. Dicho capítulo considera una caracterización del sector, diversos indicadores de productividad, y levantamiento de información respecto a algunas barreras a la productividad de los proveedores (e.g: tiempos de acreditación).

Capítulo 4

Proveedores

Comisión Nacional de Productividad

BORRADOR

El borrador del Capítulo 4 se publicará en la página web el próximo viernes 18 de noviembre. Dicho capítulo considera una caracterización del sector, diversos indicadores de productividad, y levantamiento de información respecto a algunas barreras a la productividad de los proveedores (e.g: tiempos de acreditación).

Capítulo 5

Recursos Hídricos y Energéticos en Minería

Comisión Nacional de Productividad

BORRADOR

5.1 Introducción

Los recursos hídricos y energéticos son relevantes tanto a corto como a largo plazo para el sector minero debido a su carácter estratégico. El foco de este capítulo está puesto en medidas que permitan (i) favorecer el uso eficiente de la energía y del agua dentro de la minería y (ii) potencien una adecuada disponibilidad de energía y agua en el largo plazo.

Durante la última década el consumo de energía en el sector minero ha representado entre 15-20% del Cash Cost 1 (C1)[59]. Este insumo y su incidencia en costos resulta crítico para el sector debido a la necesidad—por parte de las operaciones—de consumir energía crecientemente para mantener los niveles de producción actual. Bajo las restricciones tecnológicas actuales, factores como la ley

[59] Refiere al Costo Directo y considera los principales elementos de costos de las empresas mineras tales como energía eléctrica, combustibles, remuneraciones, servicios, créditos por subproductos, entre otros.

del mineral y el envejecimiento de las faenas[60] implican necesariamente un aumento en el consumo de energía por tonelada de cobre obtenido. Esta necesidad de mayor energía implica tener certidumbre respecto de la disponibilidad energética a través del tiempo, y esforzarse por realizar un uso más eficiente de la energía disponible.[61]

Según cifras de la Comisión Nacional de Energía (en adelante CNE) y la Comisión Chilena del Cobre (en adelante Cochilco), el sector minero representó durante la última década alrededor del 30% del consumo eléctrico del país, mientras que representa alrededor del 9-11% del consumo total de energía del país.[62] Las proyecciones de Cochilco (2016a), tomando en consideración proyectos nuevos y de expansión, y factores estructurales (como la caída en la ley y el envejecimiento de los yacimientos), indican que el sector incrementará su consumo de energía eléctrica en un 53% entre 2015 y 2026.[63] Aunque en el caso del combustible no existe aún proyección, al observar la razón de consumo eléctrico y de combustible de los últimos 15 años,[64] se esperaría que el incremento proyectado en el consumo de combustibles oscile entre 40-50%. El mismo estudio indica que el incremento en consumo eléctrico recaerá sobre el Sistema Interconectado del Norte Grande (en adelante SING) con un

[60] El envejecimiento se asocia a la composición mineralógica de la roca a procesar. Por tanto, faenas de mayor longevidad significa material mineral más difícil de tratar, principalmente por su dureza. Adicionalmente, ese mismo envejecimiento significa mayores distancias de acarreo de material, y por tanto, mayor consumo energético por tonelada.
[61] Fuentes de la industria indican que una faena promedio podría tener un potencial de ahorro entre 5% y 10% en el largo plazo aunque ello dependerá de las características particulares de cada faena.
[62] Ver Cochilco (2016c) Informe de actualización del consumo energético de la minería del cobre al año 2015 y Balance Energético, CNE.
[63] Específicamente, el consumo esperado iría desde 22 TWh a 34 TWh.
[64] La razón promedio entre consumo de combustible y consumo eléctrico entre el período 2000/2014 fue de 0,85, siendo al final del período 2010/2014 un 0,92. Es decir, por cada unidad consumida de energía eléctrica se consumió 0,85 unidades de combustible para el período 2000/2014 y 0,92 para el período 2010/2014.

65% de dicho incremento, mientras que el 35% restante estaría asociado al Sistema Interconectado Central (en adelante SIC).

Al igual que el caso de energía, los recursos hídricos también son un recurso estratégico fundamental en el proceso productivo minero. La hidrometalurgia, como su nombre lo indica, implica que sin agua no se puede realizar el proceso de flotación, ni el proceso de electro-obtención, y por consiguiente, no es posible obtener cobre. Por tanto, cualquier evento que cause la reducción del consumo hídrico óptimo para el proceso de una operación, atenta contra el desempeño productivo per se. Y en el largo plazo contra la viabilidad de los proyectos.

En adición al consumo creciente, es un hecho que los efectos del cambio climático se harán sentir sobre la disponibilidad de recursos hídricos, restringiendo las actuales fuentes utilizadas por el sector minero—en especial las continentales. Por tanto, el sector tiene la necesidad de buscar alternativas que permitan el uso eficiente del recurso si desea mantener los niveles de producción actuales. En este sentido, el uso de agua de mar, el consumo eficiente del recurso hídrico, como también la reutilización de las aguas, son las opciones más viables para superar estas restricciones. Cochilco (2016b) confirma que el sector va en esa dirección al presentar incrementos significativos en el uso de agua de mar,[65] como también mejores tasas de

[65] Por ejemplo, entre 2014 y 2015 el incremento en la utilización de agua de mar en el proceso productivo fue de 33%.

eficiencia[66] y mayor re-utilización del agua. Pero la presión será creciente, y mayor para los futuros proyectos.

Cochilco (2016b) reporta que en 2015 el consumo de agua alcanzó 56 m3/seg, de los cuales un 72% proviene de la re-circulación,[67] un 24% de aguas continentales (o frescas),[68] y un 4% proviene del mar. En el caso del agua de mar, el estudio sugiere su uso se ha incrementado casi once veces entre 2009 y 2015.[69] Se estima por Cochilco (2015) que el consumo de agua fresca se reducirá un 1,9% anual para el período 2015/2026, mientras que el consumo de agua de mar estaría incrementándose alrededor de 14% por año. Estas tendencias sugieren una convergencia a 2026 en el uso de agua continental y agua de mar en torno a los 11m3/seg cada una. Para el agua de mar, esto implica un gran desafío desde el punto de vista técnico, considerando lo que significa llevar flujos significativos de agua (tratadas o no) a distancias y alturas importantes, pero también implica enormes desafíos en tanto el consumo energético requerido en los procesos de desalinización y transporte,[70] el orden legal que estos

[66] Que permiten reducir la cantidad de agua requerida por tonelada de mineral. Entre 2009 y 2014 la cantidad de agua utilizada por tonelada procesada ha caído 21%, siendo el valor a 2014 de 0,53 m3 por tonelada de material mineral procesado.
[67] No obstante dicha cifra, este promedio esconde una alta dispersión considerando que algunas faenas presentan tasas de recirculación de 30%, mientras que otras superiores a 80%. Esto último se debe en gran medida a las distancias entre concentradora y relaves.
[68] Refiere a todas las aguas permanentes que se encuentran en el interior. Entre dichas fuentes tenemos, ríos, lagos, llanuras de inundación, reservas, humedales y sistemas salinos de interior.
[69] Para 2009 el consumo proveniente de aguas de mar fue de 0,3 m3 por segundo, mientras que para 2015 fue de 2,3 m3 por segundo.
[70] Considerando la mayor incidencia que tendrá dicho proceso en el consumo energético.

proyectos requieren,[71] y en los aspectos de orden público que está nueva fuente demanda.[72]

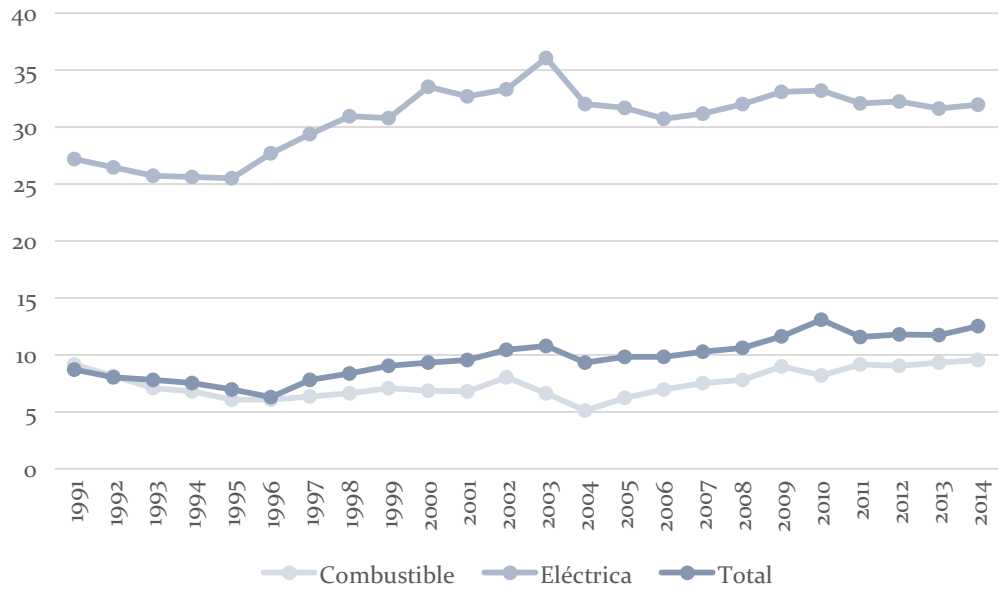
El capítulo se estructura de la siguiente forma. En la siguiente sección se abordan los temas referentes a energía. Luego, se abordan los temas referentes a agua. Finalmente, se presentan los hallazgos de ambas áreas.

5.2 Energía

La minería es un proceso industrial muy intensivo en consumo energético, tanto de electricidad como de combustible. Según la CNE a través de su balance energético, la minería del cobre desde finales de la década de 1990 pasó de representar un 25% del consumo eléctrico del país a más del 30% actualmente. También representa en torno al 8% del consumo de combustibles derivados del petróleo. Considerando ambas fuentes, se puede afirmar entonces que la minería del cobre pasó de consumir el 8% de la energía total del país (1991-2003) a más del 10% (2004-2014), un aumento del 20%. (ver Figura 5.1).

[71] Considerando aspectos tales como la servidumbre y litigios asociados a estas.
[72] Considerando el impacto que tiene un mayor uso de desalinizadoras en distintos ámbitos tales como, social, ambiental y regulatorio, entre otros.

Figura 5.1 – Participación de la minería del cobre en consumo final de energía (%)[73]



Fuente: Elaboración propia en base a Comisión Nacional de Energía (2015)

Según Cochilco (2016a), el consumo eléctrico en el proceso productivo representó entre 2002 y 2015 alrededor del 50% de la energía total consumida por la minería del cobre.[74] Este se concentra significativamente en el proceso de concentración y lixiviación (con un 75% en conjunto). Como se mencionó, el proceso natural de envejecimiento de los yacimientos hace que las faenas de concentración expliquen el grueso de la expansión del consumo, que en 2015 representó alrededor de 52% del consumo eléctrico, y se proyecta que en diez años se incrementará a 65%

[73] Entiéndase consumo final de energía como el consumo total llevado a cabo en el país menos el consumo realizados por centros de transformación.
[74] A 2015 el consumo de energía eléctrica alcanzó los 85 PJ (peta joules) y en el caso de combustibles en 78 PJ.

(Cochilco 2016a). El proceso de lixiviación (entiéndase LX-SW-EW), siendo el segundo en consumo eléctrico, muestra una contracción del consumo total debido al término de la vida útil de varias operaciones. En el consumo de combustible, más del 60% se explica por el proceso de mina a rajo abierto (2001-2015).[75]

Los desafíos estructurales en minería son temas mundiales y no exclusivos de la minería chilena. A futuro las diferencias de competitividad, y en muchos casos la propia existencia de una operación, tendrán que ver con enfrentar dichos desafíos con una mayor eficiencia productiva en las operaciones. Parte de esas capacidades de las operaciones radica en el uso eficiente de energía. Entiéndase por "eficiente" no solo la capacidad de sacar mayor producción por unidad de energía consumida, sino también en la fuente original de dicha energía. Este último punto es crítico considerando que el incremento significativo de energía puede llevar al incremento en el consumo de fuentes energéticas nocivas para el medio ambiente, y repudiadas por la sociedad. De hecho, la generación en base a carbón representa alrededor del 40% de la generación eléctrica en el SING.

Según Cochilco (2014) cuando la minería chilena se compara con otros países productores de cobre, el desempeño es mixto. Por un lado, si se compara el consumo efectivo (y proyectado) de litros de diésel por tonelada de material movido (en mina rajo), en el período 2000-2014 la minería chilena resultó ser más eficiente (con 0,53 litros) que la medida agregada del resto del mundo (con 0,56 litros). Las proyecciones

[75] Según cifras de Cochilco a 2001 dicho ítem representaba el 56% de consumo de combustible mientras que para 2015 representaba el 77% lo cual se debe a la profundización de los rajos.

a partir de 2015 muestran una pérdida relativa de eficiencia por parte de la minería, pues en el caso de Chile se mantendrá en torno a 0,53 litros (de diésel por tonelada de material movido), mientras que el resto del mundo reduciría su consumo a 0,51 litros de diésel por tonelada.

Este desempeño es distinto al comparar con subconjuntos de países competidores. Al considerar el período 2000-2030[76], Perú y México promedian 0,44 y 0,35 litros por tonelada respectivamente, versus 0,53 litros de Chile.[77] Comparado con Australia, Canadá y Estados Unidos, la eficiencia productiva de Chile es comparable al promedio de este subconjunto. Las proyecciones del estudio muestran que Estados Unidos y Canadá serían los países que irían perdiendo eficiencia en el uso de diésel, no así Australia y Chile.[78]

En un análisis análogo para el consumo eléctrico en plantas concentradoras,[79] se proyecta que la eficiencia en el consumo de la industria chilena respecto al resto del mundo irá empeorando en términos relativos, y absolutos.[80] Para el período 2000-2014 la minería del cobre en Chile presentó un consumo en torno a 21 KWh por tonelada de material procesado, contra un 23 KWh del resto de la industria minera. A

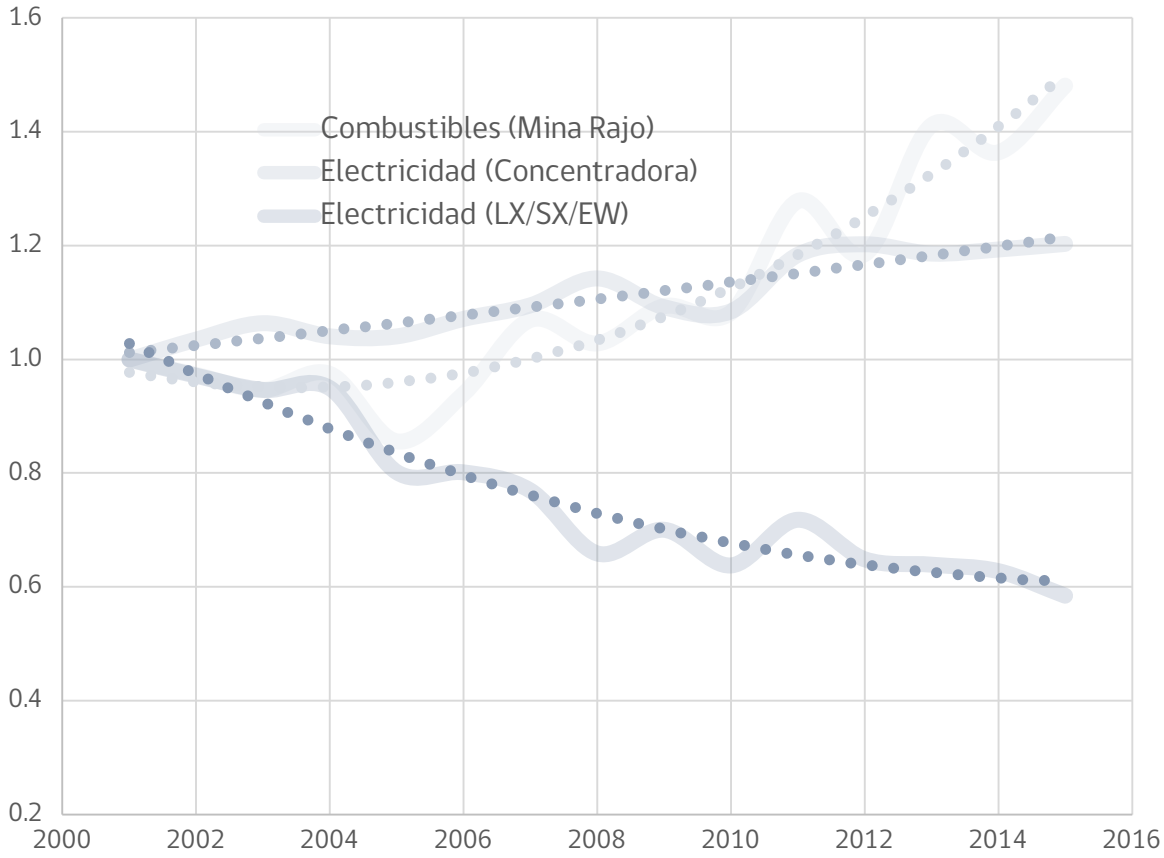
[76] Para los años posteriores a 2013 son proyecciones de Wood Mackenzie.
[77] Considerando que la relación entre distancia de acarreo y longevidad de la operación es positiva, no es claro si estos índices corrigen por aquello o no. En caso de no estar corregido, Chile sería más eficiente.
[78] Hay que considerar la posibilidad que dichas métricas sufren de sesgo considerando la correlación que existe entre escala como longevidad del proyecto y distancias a recorrer. A modo de ejemplo, una faena que acarrea el 10% de material que acarrea una segunda faena, por diseño del rajo, debiese tener una menor distancia que recorrer, generando así un sesgo en dicha medida.
[79] Según el mismo estudio de Cochilco, en Chile las plantas concentradoras representan alrededor del 52% del total de consumo eléctrico del sector a 2015.
[80] En términos absolutos la eficiencia de la minería chilena es mayor que el resto de la industria hasta 2018. Posterior aquello, es el resto de la industria la que tiene una mayor eficiencia energética.

partir de 2014 se proyecta una convergencia en la eficiencia entre Chile y el resto de la industria, por el empeoramiento de ambos. Según las proyecciones del mismo estudio, para el período 2014-2030 se estima que la eficiencia de la industria chilena empeorará llegando a valores entorno a los 25 KWh por tonelada de material procesado para el año 2030,[81] mientras para el resto de la industria se ubicará en torno a 23 KWh. Comparado con Estados Unidos, México y Perú, Chile resulta menos eficiente, dichos competidores se ubicarán en torno a los 20 KWh por tonelada de material procesado. En tanto Chile se va acercando al consumo de los competidores más ineficientes (Australia y Canadá) cuyo consumo se ubica en 25-30 KWh por tonelada procesada.

En definitiva, se observa que la gran minería del cobre en Chile utiliza de manera relativamente eficiente la energía, tanto eléctrica como de combustible, respecto de sus competidores internacionales.

[81] Considerando que las cifras utilizadas por Cochilco (2014) provienen de Wood Mackenzie podría considerarse que el efecto de las desalinizadora no está contemplado en dicha estimación y por tanto esta cifra esté sub-estimando el nivel de eficiencia.

Figura 5.2 – Índice de coeficientes unitarios de consumo por tonelada de material



Fuente: Elaboración propia en base a Cochilco[82]

Desde 2000, el consumo de combustible por tonelada asociado a mina rajo se ha incrementado un 50%, mientras que el consumo en electricidad por tonelada procesada en la concentradora se ha incrementado un 20%. El consumo de los activos asociados a lixiviación es el único que cae (cerca de un 40%) por el cierre de algunas líneas (ver Figura 5.2). Esta dinámica tiene que ver con la transición que está llevando

[82] Consumo Energético de la Industria Minera del Cobre por Procesos.

a cabo la minería (especialmente la gran minería del cobre) respecto a la reducción del procesamiento de óxidos y el incremento en el procesamiento de sulfuros. Esto último implica, a no ser que aparezcan tecnologías disruptivas, incrementos en el consumo de combustible asociado a mina rajo,[83] como también aumentos importantes en el consumo eléctrico asociado a concentradora.

Junto al aumento en consumo energético directo, también es necesario añadir al escenario de mediano plazo el incremento sustancial en el uso de agua de mar, lo que implicará un aumento importante en el consumo eléctrico. El incremento esperado es de tal magnitud que las proyecciones de Cochilco lo ubican como el segundo proceso[84] de mayor consumo después de la concentración: para 2026 un 12% del consumo total de energía eléctrica estará asociado al uso de agua de mar. Esto implica, en base a las proyecciones actuales, que el proceso de desalinización y bombeo aumentará 5,6 veces su consumo energético entre 2015 y 2026.[85]

En síntesis, y a pesar del comportamiento relativamente eficiente del consumo en Chile (comparado con otros países mineros) el escenario de mediano plazo implica un incremento sustancial del consumo de energía, el cual será necesario abastecer de manera lo más eficiente posible (incluyendo sustentabilidad), para producir competitivamente.

---

[83] Menores leyes significa mayor material a extraer (y mover) para mantener la producción, y además operaciones más longevas implican mayores distancias desde el rajo hacia planta concentradora o botadero.
[84] A la fecha el proceso que representa el segundo mayor consumo eléctrico es LX-SW-EW pero por los motivos antes expuestos su peso relativo en el consumo irá disminuyendo.
[85] Desde 0,73 TWh (3% del consumo eléctrico actual) a 4,1 TWh (12% del consumo eléctrico a 2026).

Aunque la generación eléctrica enfrenta sus propios desafíos, el incremento esperado en consumo de la minería no impone un problema en términos de disponibilidad de energía. Hasta el momento el problema energético para la minería ha sido de costos más que de disponibilidad.

La instalación de líneas de transmisión eléctrica que transporten la energía desde las líneas principales a las operaciones –coloquialmente denominada la "guitarra"- puede encontrarse con ciertas dificultades y con espacios de mejora.

Por una parte, la habilitación para instalar una línea de transmisión eléctrica tratada como una concesión de conformidad a la Ley General de Servicios Eléctricos[86], no tiene una igual protección legal como otras concesiones (mineras, hídricas) que son considerados inmuebles y, por ello, obtienen una protección derivada del régimen legal común de dichos bienes que les permitiría aminorar los costos en litigios previos al desarrollo del referido proyecto[87], lo cual reviste una dificultad mayor pues incide en discusiones sobre la naturaleza jurídica de este tipo especial de derechos.

Esta protección especial es importante, pues permite hacer un uso más sencillo de la constitución de servidumbres. Esta limitación al dominio, regulada en los artículos 820 y siguientes del Código Civil y en la legislación específica de acuerdo

[86] Decreto con Fuerza de Ley 4/2007, D.O. 05-02-2007.

[87] Si bien el artículo 34 Bis de la citada norma ha dispuesto un instrumento procesal para que los litigios no detengan la construcción de una línea de transmisión eléctrica, ello no ha sido eficaz. Al ser llevados a litigio los titulares de la línea de transmisión eléctrica necesariamente se produce una paralización de las construcciones que habilitan dicha línea, pues la determinación de la caución para levantar esa paralización lleva a otro juicio dentro de un juicio, aumentando así los costos de la implementación del citado proyecto.

al tipo de concesión de que se trate, permite que se pueda atravesar o usar una parte de un terreno para fines específicos. Sin embargo, uno de los presupuestos principales para estar en presencia de servidumbres es que se trate de una relación de utilidad entre *predios* (predio sirviente aquél que sufre el gravamen, predio dominante aquél que ejecuta el gravamen) o bien derechos de naturaleza inmueble determinados así por ley. Lo cual es fácil (e incluso regulado específicamente) en el caso de concesiones mineras e hídricas, mas no lo es cuando respecta a concesiones eléctricas, quienes se ven a merced de titulares de mejores derechos que inciden en los costos de implementación, mantención y término de los proyectos.

Por otra parte, quien desea convertirse en concesionario eléctrico se puede encontrar con dos potenciales opositores: el privado titular del terreno superficial y un concesionario minero o hídrico en el área, lo cual vuelve más costosos los procesos de negociación para la operación de las líneas, con el fin de evitar incurrir en litigios[88]. Es aquí donde es posible encontrar ciertos espacios de mejora.

En razón de la sinergia entre la operatividad de las faenas mineras y la necesidad de energía eléctrica para ello, una forma de fomentar la productividad en tal sentido es evitar que el concesionario eléctrico no se vea forzado a constituirse, paralelamente, en concesionario minero bajo el régimen del Código de Minería, con el fin de contar con servidumbres de rápida constitución en terrenos superficiales[89]

---

[88] Particularmente, los juicios arbitrales a los que están sometidas las dificultades entre los concesionarios mineros, eléctricos e hídricos de conformidad al artículo 31Bis de la Ley General de Servicios Eléctricos.

[89] Los artículos 120 y siguientes del Código de Minería permiten la constitución de servidumbres legales mineras mediante un procedimiento judicial expedito donde lo único discutible es el monto de la indemnización al predio sirviente. Por su especialidad, priman sobre la denuncia de obra nueva de uso común y otorgan una

para el desarrollo de su proyecto, así como el gozar de una protección añadida frente a terceros concesionarios que afecten su derecho[90]. Esto es relevante, pues una vez constituido en concesionario minero aumentan sus costos de mantención de la línea de transmisión eléctrica, ya que debe preservar el derecho minero otorgado mediante el pago de patentes anuales en orden a evitar litigios complejos, como una especie de seguro complementario a su labor ya protegida mediante un Decreto con Fuerza de Ley, que debiera ser suficiente como herramienta legal. Mas la práctica ha demostrado que los concesionarios eléctricos, no obstante ser necesarios para el desarrollo del país, se ven detenidos en el desarrollo de sus proyectos (incidiendo en la productividad nacional) por hacerse cargo de estos focos de litigación potencial.

Particularmente, estos focos de litigación están previstos por nuestro legislador en el caso de que efectivamente existan operaciones mineras complejas en el área que requieran de esta protección especial. Mas es de público conocimiento el uso especulativo del suelo en el cual se emplazan las concesiones mineras de explotación y exploración, dado que no es requisito ni legal ni técnico el demostrar un plan de explotación minera sustentable ante la autoridad para su constitución. De ahí a que se vuelve necesario, con el fin de reducir costos y volver atractiva la inversión en proyectos de envergadura, el diseñar mecanismos que desincentiven este uso y, a la vez, no signifiquen una limitación al desarrollo de una actividad económica legítima.

---

protección adicional al predio dominante al habilitarlo con un derecho de naturaleza inmueble, sea o no que efectivamente lleve a cabo labores mineras.
90 Véase artículo 34 Bis Ley General de Servicios Eléctricos.

5.3 Agua

Sin agua es imposible realizar el proceso que lleva a la obtención de cobre. Su uso es relevante tanto en el procesamiento de sulfuros como en óxidos, focalizándose en la concentradora, los mineroductos, y en el riego de las pilas de lixiviación. Otras etapas donde tiene menor incidencia son la mina rajo -donde el recurso es utilizado para la supresión de polvo en caminos- o el caso de las prestaciones de servicios anexos.

Las crecientes restricciones que enfrenta el país, y el sector en particular, sobre el uso de aguas de origen continental,[91] han incentivado a que la minería tome mayor conciencia del uso eficiente de este recurso, y de la necesidad de búsqueda de fuentes alternativas. Prueba de ello es que los últimos años la industria ha avanzado en mejoras productivas que maximicen la recirculación del agua, y en el incremento de uso de agua de mar.

Tomando el objetivo del sector de producir 7,5 millones de toneladas métricas al 2035, es un desafío fundamental asegurar la disponibilidad del recurso hídrico. Ello significa determinar cuál debe ser la combinación de fuentes óptima para el consumo eficiente del recurso en los próximos 20 años. Al año 2015, según Cochilco (2016b), el consumo de agua recirculada alcanzó 40,4 m3/seg, mientras que la de origen

[91] Entiéndase, todas las aguas permanentes que se encuentran en el interior. Entre dichas fuentes tenemos, ríos, lagos, llanuras de inundación, reservas, humedales y sistemas salinos de interior.

continental fue 13,1 m3/seg y de origen marítimo 2,3 m3/seg. Esto implica que en la minería el consumo de agua alcanzó al año 2015 los 1.800 millones de m3, aproximadamente.

Las cifras agregadas esconden la alta heterogeneidad existente respecto a las fuentes de recurso hídrico. Dependiendo de la ubicación de la operación, la disponibilidad del recurso difiere y genera distintas combinaciones de abastecimiento del recurso. Cochilco (2016b) indica que la II y III región son las únicas que tienen al agua de mar como una de las fuentes dentro de su matriz de recurso hídrico. Además, la II región es la que presenta, tanto en términos absolutos como relativos, el mayor consumo de agua recirculada[92] alcanzando a 2015 los 21,0 m3/seg versus los 3,2 m3/seg promedio del resto de las regiones mineras.[93] Si bien parte de dicha diferencia radica en la escala de producción de la II región respecto al resto, esta alta heterogeneidad también se puede deber al hecho que muchos de los relaves (desde donde se recircula el agua) de la II región se ubican eficientemente cerca de la faena, y por tanto la inversión y el esfuerzo que se debe realizar para reutilizar el insumo resulta bajo en comparación a faenas que se encuentran en otras regiones, donde tanto la geografía como la densidad poblacional resultan factores determinantes en la ubicación del relave.

Un factor relevante al momento de mejorar la eficiencia en torno a la reutilización de agua refiere al tratamiento de relaves (sulfuros). Los esfuerzos de los

[92] El agua recirculada representa el 75% del recurso hídrico consumido respecto al total consumido por la minería de la II región, y representa más del 50% del total de agua recirculada que utiliza la minería.
[93] Entiéndase, regiones XV, I, III, IV, V, VI y XIII.

últimos años van en la dirección de tener relaves espesados que permiten una mejor recuperación de agua, entre otros beneficios.[94] Dicha tecnología ya ha sido testeada en mediana minería en Chile (e.g: Minera Esperanza[95]), aunque ha enfrentado dificultades para su escalamiento a la gran minería. Con la tecnología actual, la factibilidad técnica de tener relaves totalmente secos e inocuos es imposible.

Al analizar el consumo de agua a nivel de etapas del proceso productivo, y enfocados en la fuente continental (la de menor disponibilidad), un 70% es utilizado en la concentradora, mientras que un 15% en la hidrometalurgia. El 15% restante es destinado a fundición y refinería, y otros servicios. Dado que el futuro del sector va en la dirección de procesar sulfuros por sobre óxidos (por el mencionado envejecimiento de los yacimientos), esto llevará a más consumo de agua en procesos de concentración, y menos en hidrometalurgia.

Tomando como métrica de eficiencia los m3 de agua consumida por tonelada de cobre procesado, los datos de Cochilco muestran un uso más eficiente en las etapas más intensivas en el recurso hídrico: concentradora e hidrometalurgia. Desde 2009 el consumo de agua por tonelada mineral procesado se ha reducido un 25% en el caso de la concentradora, y un 33% en el caso de la hidrometalurgia (ver Tabla 5.1).[96] Esto demuestra la atención que el sector pone en garantizar el uso óptimo del recurso.

---

[94] Aumenta la vida útil del depósito, reduce los riesgos de contaminación de napas y cauces naturales, aumenta la estabilidad sísmica y se minimiza la superficie de suelo requerida para disponer de los relaves, optimizando el uso de suelo.
[95] Hoy Centinela Sulfuro.
[96] En el caso de la concentradora va desde 0.69 m3 por tonelada a 0,52 m3 por toneladas, mientras que para la hidrometalurgia es 0,12 m3 por tonelada a 0,08 m3 por tonelada.

Tabla 5.1 - Consumo unitario de agua fresca

Unidad	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Concentración	0,67	0,69	0,65	0,61	0,57	0,53	0,52
Hidrometalurgia	0,12	0,12	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08

Fuente: Cochilco (2016b)

Visto a nivel de región, Cochilco reporta que la II y III región son las únicas que muestran un patrón descendente en el consumo de m3 de agua por tonelada procesada.[97] El resto de las regiones, o bien disminuye la eficiencia, o se mantiene. Los números varían si se analiza por región y por proceso productivo (concentración e hidrometalurgia). Según Cochilco, la gran minería en promedio es un 30% más eficiente en el uso de agua que la mediana minería (concentración) lo que releva la importancia de las economías de escalas, y la disponibilidad de tecnologías adecuadas.

La recirculación es clave en la gestión de los recursos hídricos en la minería, dependiendo del diseño de la operación los excedentes pueden ser reutilizados dentro de un mismo proceso o en otros, según los requerimientos de cantidad y calidad necesaria. Los últimos datos (Cochilco 2016b) reflejan que la tasa de reutilización (el consumo de agua recirculada sobre el total) en la minería del cobre oscila alrededor del 73% (2011-2015) (ver Tabla 5.2). Comparativamente, la recirculación de agua en

[97] En el caso de la III región vale la pena destacar la reducción en el consumo de agua en el proceso de concentradora es significativo pasado de 0,85m3/tonelada en 2012 a 0,48m3/tonelada en 2015. Es decir una reducción de 32%, aproximadamente.

el proceso de concentración se ha incrementado desde 57,3% en 2009 a 73,2% en 2015.

Tabla 5.2 - Agua recirculada en la minería del cobre (2011-2015)

	2011	2012	2013	2014	2015
Litros por segundo	25.367	34.291	32.138	31.708	40.382
Recirculación	68,7%	74,0%	73,0%	73,9%	72,5%

Fuente: Cochilco (2016b)

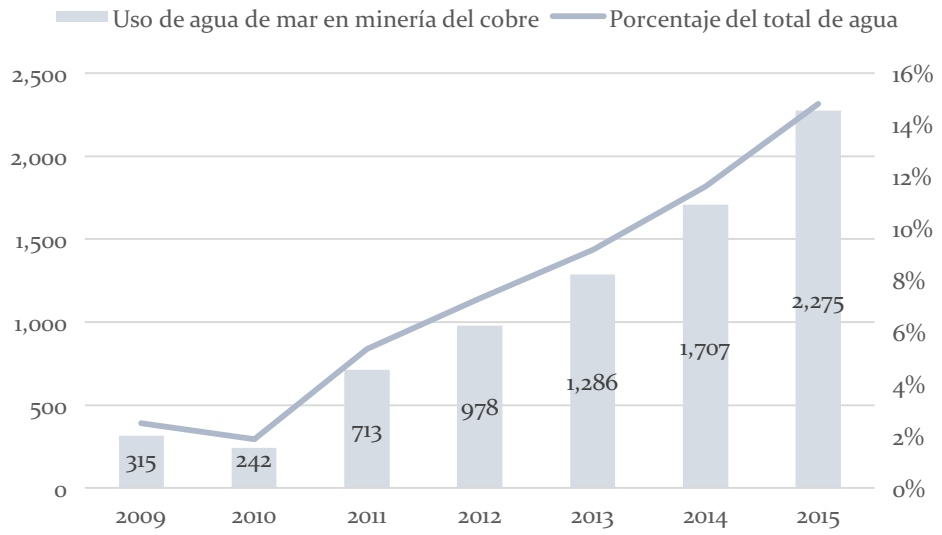
Las regiones IV y Metropolitana son las que presentan una mayor tasa de reutilización,[98] sin duda pues estas enfrentan mayores restricciones dado el grado de competencia que existe con usos alternativos, tales como agricultura y consumo humano. Hay que recordar que el sector minero representa alrededor del 9% del uso consuntivo del agua, mientras la industria es un 12% y el sector agrícola un 73%.[99] Es decir, el desafío del sector minero respecto al uso eficiente del agua viene por partida doble: dada la geografía desértica donde se ubica la mayoría de las operaciones el recurso hídrico es escaso; pero además, las faenas ubicadas en zonas de menor restricción hídrica compiten con otros sectores cuya relevancia en el consumo de agua supera significativamente al de la minería.

Como se ha señalado, aparte de la reutilización y una mayor eficiencia en el consumo de agua por tonelada de material mineral procesado, la tercera alternativa que permite paliar la restricción hídrica tiene que ver con la sustitución de agua continental por agua de mar. Los datos de los últimos años muestran que el uso de

[98] Ambas sobre el 80%.
[99] Ver Ministerio de Obras Públicas (2012) Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025.

agua de mar en la minería del cobre ha aumentado más de 7 veces entre 2009 y 2015[100] representando en la actualidad un 15% del consumo de agua total (Cochilco, 2016b). (Ver Figura 5.3)

Figura 5.3 – Uso de agua de mar en minería (l/seg; % extracción)

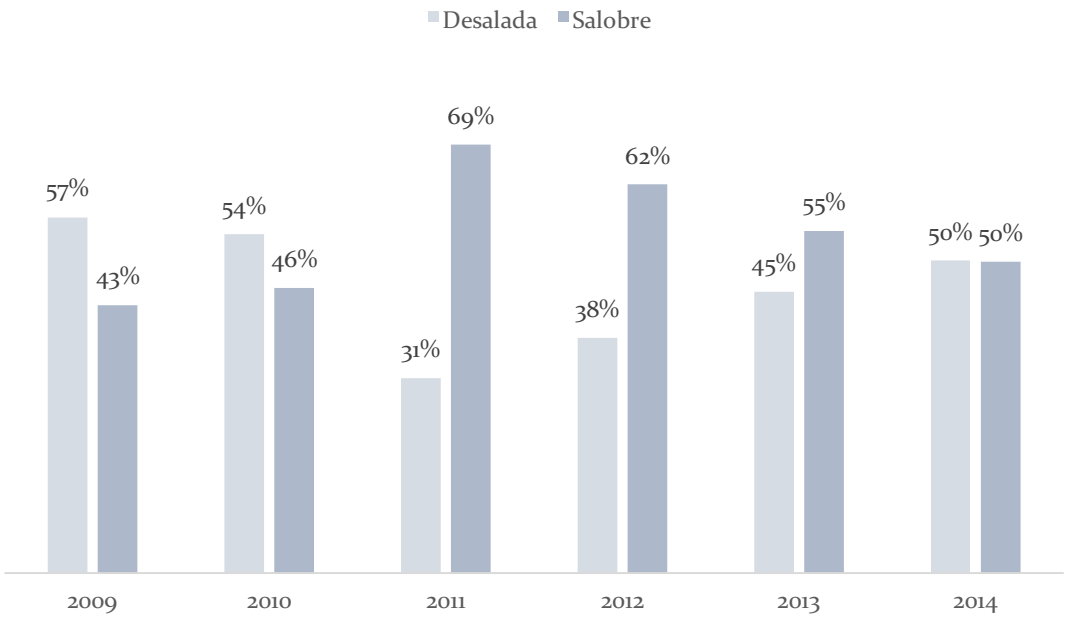


Fuente: Elaboración propia en base a Cochilco (2016b)

La forma de consumir el agua de mar depende de cada proyecto y proceso. En algunos casos el agua salobre es suficiente, mientras en otros es necesario realizar un proceso de desalinización previo al envío de agua a la faena. En general, la distribución del consumo agua desalinizada y salobre ha oscilado en torno a 50/50 en el período 2009-2015 (ver Figura 5.4).

Figura 5.4 – Composición del Consumo de Agua de Mar en Minería (%)

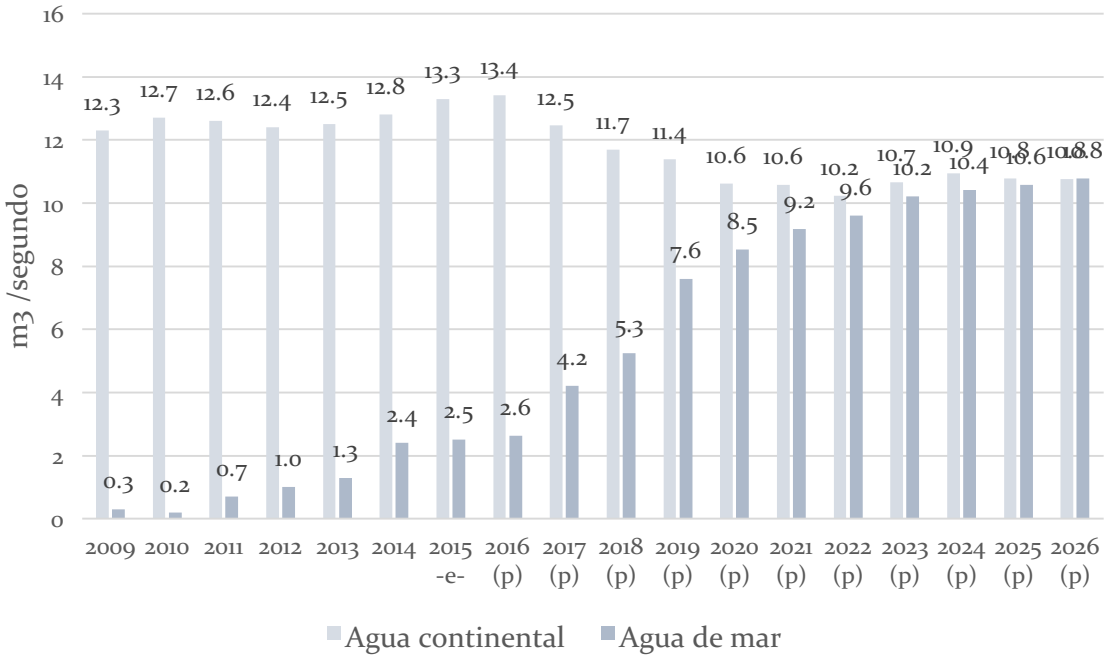
[100] Desde 0,2m3 por segundo a 2,3m3 por segundo.



Fuente: Cochilco

Cochilco (2016b) proyecta que las extracciones futuras de agua en la minería hacia el 2025 provendrá en partes iguales de fuentes de agua continental y agua de mar (ver Figura 5.5). En este sentido, considerando la tendencia al alza en el consumo de este tipo de agua, resulta relevante entender el impacto que tiene cada una de las opciones al proceso productivo como también el impacto ambiental.

Figura 5.5 – Proyecciones de extracción de agua en minería del cobre 2015-2026



Fuente: Cochilco (2015)

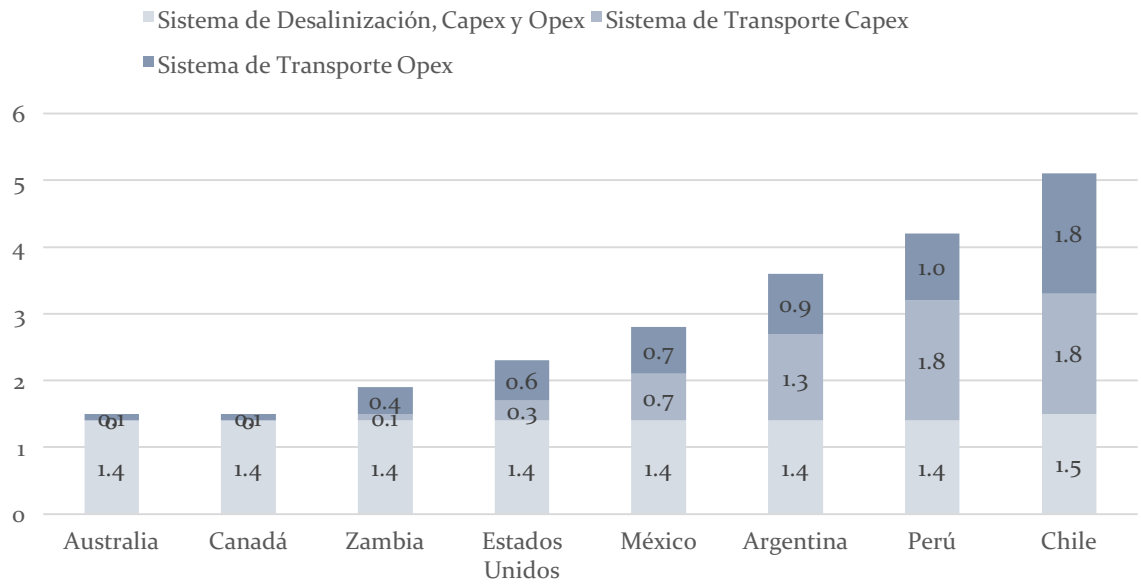
Otras dimensiones a considerar ante el incremento del uso de agua de mar en el proceso minero tiene que ver con los requerimientos energéticos asociados al proceso de desalinización, y en mayor medida al de bombeo hacia las faenas (ver Figura 5.6). Los yacimientos mineros se ubican en alturas superiores a los 2.000 metros, lo cual aumenta tanto los costos de construcción de las tuberías que transporte el agua desde la planta desalinizadora a la faena minera (inversión de capital inicial), y la cantidad de energía requerida para bombear dicha agua (costos operacionales). En ese sentido, existe espacio importante para economías de escala en comparación con otros países referentes que no adolecen de este desafío, que sugieren compartir inversiones en desalinización entre varias faenas.

No obstante lo anterior, al igual que en el caso de las líneas de transmisión eléctrica se suman posibles problemas de servidumbre para el transporte del agua desde la planta desalinizadora a la faena minera debido al uso especulativo del suelo. Particularmente, dada la calidad de inmuebles de que gozan las concesiones mineras, sean éstas de explotación efectiva o sólo de exploración[101], es frecuente su constitución sin que ello se traduzca en un efectivo uso del suelo para los fines determinados en la norma, con el objeto de aprovechar las instancias litigiosas que ofrece la regulación vigente, presionando con ello a negociaciones entre concesionarios de diversa naturaleza o bien sometiendo la discusión de sus intereses a procedimientos judiciales cuyos efectos prácticos son el paralizar el correcto uso del recurso hídrico y el desarrollo de proyectos en tal sentido. En la práctica, ello es denominado "minería oculta" porque, si bien no constituye una explotación efectiva del mineral, sí es una fuente de ingresos para gran parte del sector privado, por cuanto su existencia habilita para deducir acciones legales (como denuncia de obra nueva, demandar servidumbres legales mineras, entre otras) que, no obstante disposiciones legales[102], fuerzan a generar negociaciones extrajudiciales y, en definitiva, a vender la concesión ya constituida con el objeto de dar término a un juicio vigente o precaver un litigio eventual.

[101] Calidad que se ve reforzada por la Ley Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras (Ley 18.097, D.O. 21-01-1982).

[102] Véase Art. 34 bis de la Ley General de Servicios Eléctricos, la cual si bien se basa en el principio de caucionar los resultados del desarrollo del proyecto eléctrico, pagando una suma provisoria ante el Tribunal para levantar la suspensión de las obras, antes de que dicho pago se realice, el propio curso del juicio genera un desgaste natural en los titulares parte de éste, impulsándolos a negociar extrajudicialmente con el objeto de dar curso a sus proyectos.

Figura 5.6 – Costo de agua de mar en Minería (US$/m3)



Fuente: Consejo Minero y McKinsey (2013)

En la actualidad existen diez plantas desalinizadoras asociadas a proyectos mineros, de las cuales siete son capaces de enviar agua salobre también. Quince plantas adicionales estarían en carpeta (ver Tabla 5.3),[103] aunque a nivel administrativo se han detectado un número aún mayor de solicitudes para concesiones marítimas con el objetivo de instalar plantas desalinizadoras, aunque no todas ellas están relacionadas con minería.

[103] De esos proyectos, una estaría operacional el 2017, mientras que las otras dieciséis caen en categorías de posible, probable, potencial e hipotético.

Un aspecto relevante para habilitar el potencial de abastecimiento en agua de mar del país es el tratamiento de los residuos de las plantas desalinizadoras. La expulsión de salmuera puede generar impactos en el ambiente, más aún cuando el número de proyectos en carpeta aumenta de manera significativa, ignorando el potencial de las economías de escala. En particular, no existe una regulación clara sobre dichos residuos por lo cual en la actualidad se aplica una legislación de riles industriales más generales. Esto se debe a la gran dispersión reglamentaria existente en materia ambiental, colindante con facultades sanitarias y que tiene directa incidencia en la planificación desarrollo y término de proyectos[104]. De ahí que para reducir los costos y fomentar la productividad del sector se vuelve necesario el establecer lineamientos generales sobre los residuos de las plantas de tratamientos de aguas, dedicando un capítulo a lo relativo a las plantas desalinizadoras, en cumplimiento con los estándares internacionales en materia de medioambiente.

Finalmente, es relevante mencionar una externalidad positiva adicional del uso de agua de mar por parte de la minería, que radica en que la infraestructura requerida (desalinizadora) pueda ser utilizada una vez acabada la operación, para el uso de la comunidad y/o otras actividades productivas (e.g: agricultura). Con esto en mente, el

[104] Es así como hoy existen 6 reglamentos que tratan la materia y que en algunos casos sus disposiciones se superponen, quedando en los operadores jurídicos la aplicación de principios generales (especialidad, derogación orgánica) con el fin de dar una correcta interpretación y aplicación de las disposiciones involucradas. Así, deben ser compatibilizadas las disposiciones de DS 40/2013 (Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental), DS 143/2009 (Normas de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo), DS 209/2006 (Fija valores de toxicidad de las sustancias para efectos del reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos), DS 148/2004 (Aprueba reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos), DS 46/2003 (Establece norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas), DS 90/2001 (Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales) y DS 144/1961 (Establece normas para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquiera naturaleza), sumado a las normas técnicas indicadas en el Instituto Nacional de Normalización.

uso de agua de mar puede ser parte importante de la legitimidad social para operar requerida por la minería en la actualidad[105].

[105] Ver Capítulo 6 para mayor detalle del vínculo entre Minería y Comunidades.

Tabla 5.3 - Capacidad instalada de uso de agua de mar en minería del cobre actual y futura

Nombre - Compañía	Año esperado puesta en marcha	Condición	Región	Capacidad de Desalinización (l/s)	Capacidad de Impulsión Directa de Agua de Mar (l/s)
Michilla - Antofagasta Minerals	-	Base	II	75	23
Mantoverde - Anglo American	-	Base	III	120	n.d
Coloso - BHP Billiton	-	Base	II	525	n.d
Mantos de Luna - Minera Tocopilla	-	Base	II	20	5
Centinela - Antofagasta Minerals	-	Base	II	50 a 150	780 a 1.500
Antucoya - Antofagasta Minerals	-	Base	II	50	280
Las Cenizas - SLM Las Cenizas	-	Base	II	9	55
Sierra Gorda - Quadra Chile	-	Base	II	63	1.315
Pampa Camarones - Pampa Camarones	-	Base	XV	5	2,5
Candelaria - Lundin Mining	-	Base	III	300 - 500	n.d
Escondida Water Supply - BHP Billiton	2017	Probable	II	3.200	n.d
Los Pelambres - Antofagasta Minerals	2018	Posible	IV	400	n.d
Santo Domingo - Capstone	2019	Probable	III	260 a 290	355
Radomiro Tomic - Codelco	2019	Posible	II	1630 a 1.950	n.d
Diego de Almagro - Minera Can Can	2019	Posible	III	450	n.d
Spence - BHP Billiton	2019	Posible	II	800 a 1.600	n.d
El Espino - Pucobre	2019	Probable	IV	5	n.d
Quebrada Blanca - Teck	2020	Potencial	I	1.300	n.d
Centinela Ampliación - Antofagasta Minerals	2019 - 2024	Posible	II	178	n.d

Fuente: Adaptado de Cochilco (2016b)

5.4 Resultados Preliminares

Los recursos hídricos y eléctricos son insumos estratégicos para la gran minería del cobre. Por razones propias del sector, y por la expansión esperada en proyectos actuales y nuevos, se esperan aumentos sustanciales en el consumo de ambos durante los próximos diez años. Para hacer viable esta demanda se requiere mejorar la disponibilidad de agua y energía, y su uso eficiente. Además del impacto directo en el proceso productivo, el éxito en esta gestión impactará sobre la relación de la industria con las comunidades.

En el ámbito de los recursos energéticos, la evidencia disponible indica que la gran minería del cobre utiliza de manera eficiente la energía en los distintos procesos, incluso al comparar a nivel internacional. Si bien existe un margen de mejora acotado en términos de eficiencia energética (hasta un 10%), es difícil pensar que ello pueda aumentar de manera significativa en el corto plazo. En términos de disponibilidad del suministro, las recientes licitaciones y la futura unión del SING y el SIC permiten esperar que los precios que enfrente la minería del cobre sean competitivos internacionalmente (US$50-100 por Mw). Por otro lado, existen externalidades negativas por parte de la matriz energética, siendo la mayoría del SING intensiva en generación a carbón, con las consecuentes emisiones de CO2.

No obstante, existen espacios de mejora en términos del funcionamiento del abastecimiento. En particular, en lo que respecta a las líneas de transmisión y el uso

de suelo. En efecto, atendido a que uno de los principales problemas con los que se ve enfrentado el concesionario eléctrico es la existencia de concesiones mineras de terceros, constituidas en su mayoría para fines especulativos distantes de un proceso de explotación a corto plazo, ello aumenta los costos tanto en materia de negociaciones sobre los derechos que inciden en los terrenos utilizados por la línea de transmisión (torres, cableado, paneles) como en materia de juicios que pueden ser iniciados al amparo de los derechos mineros en su calidad de inmuebles (ej.: juicios de denuncia de obra nueva). Particularmente, en el caso de la constitución de servidumbres sobre el área de interés de la línea de transmisión.

De este modo, si bien el legislador diseñó un procedimiento para que las diferencias entre los concesionarios fueran resueltas de forma expedita, en el caso de la concesión minera sobre el predio superficial de fácil constitución y sin exigencia de explotación efectiva a corto plazo, la existencia de "concesionarios fantasma" u ocultos en el área incide directamente en el poco atractivo para la implementación de proyectos eléctricos y obliga a que la gran minería, verdaderamente explotando el recurso, deba invertir en la constitución de concesiones mineras que exceden el área de desarrollo de su proyecto con el objeto de cubrir una potencial línea de transmisión eléctrica llegado el minuto.

En el ámbito de los recursos hídricos, la evidencia disponible indica que la gran minería del cobre utiliza de manera eficiente el agua en los distintos procesos. Ello es natural por cuanto la escasez del recurso incentiva fuertemente a recircular y ser eficiente en el uso. A futuro, mayores restricciones al uso de agua continental (e.g:

ley de glaciares) y competencia con otras actividades (e.g: consumo de la población y producción agrícola) hacen esperar un uso creciente de agua de mar. La gran minería ha reaccionado orientándose en dicha dirección, pero la política pública debe definir los márgenes que permitirían potenciar dicho uso. Existe consenso en el país sobre un déficit institucional respecto a un sistema integral de gestión del recurso hídrico, pero proponer dichas directrices excede el alcance de este capítulo,[106] no obstante, deben resolverse los vacíos legales con el objetivo de fomentar el uso de agua de mar en minería.

Hallazgo 5.1: *Existen espacios para mejoras en el abastecimiento eléctrico debido al uso especulativo de concesiones mineras de terceros lo cual aumenta los costos tanto en materia de negociaciones sobre los derechos de los terrenos utilizados por las líneas de transmisión como en materia de juicios a través del amparo de derechos mineros en su calidad de inmuebles.*

Hallazgo 5.2: *No existe una hoja de ruta sobre permisos y trámites para la instalación de plantas desalinizadora.*

Hallazgo 5.3: *Existe un vacío regulatorio respecto de la expulsión de salmuera en las plantas desalinizadora la cual es subsanada actualmente mediante el uso de otra legislación de carácter general.*

Hallazgo 5.4: *A diferencia de otros países mineros, existen importantes costos de inversión y operación en habilitar el uso de agua de mar debido a la altura de los*

[106] Ver, por ejemplo, Banco Mundial (2011, 2013).

yacimientos, lo que abre espacio para el aprovechamiento de economías de escala entre empresas mineras de faenas cercanas para la construcción de desalinizadora, generación eléctrica y tuberías.

REFERENCIAS

Banco Mundial (2011) Chile – Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos.

Banco Mundial (2013) Chile – Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua.

Cochilco (2014) Benchmark del consumo de energía en países minero relevantes, actualización 2014.

Cochilco (2015) Proyección del consumo de agua en minería del cobre – Proyecciones 2015-2026.

Cochilco (2016a) Informe Proyección del Consumo de Electricidad de la Minería del Cobre 2015-2026.

Cochilco (2016b) Consumo de agua en la minería del cobre al año 2015.

Cochilco (2016c) Informe de actualización del consumo energético de la minería del cobre al año 2015.

Comisión Nacional de Energía (2015) Balance Energético 1991-2014.

Consejo Minero y McKinsey (2013) Chile y la Minería – Éxitos y desafíos compartidos.

Ministerio de Obras Públicas (2012) Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025.

Capítulo 6

Minería y Comunidades

Comisión Nacional de Productividad

BORRADOR

6.1 Introducción

Este capítulo presenta información sobre el estado de las relaciones entre las empresas mineras y las comunidades en Chile, y analiza el rol del Estado en esta dinámica. Se revisa parte de la literatura pertinente, los avances en Chile, y se exponen tres casos nacionales: Minera Los Pelambres, Minera Cerro Colorado, y RockWood Lithium.

Durante la última década, y en todo el mundo, las manifestaciones y protestas ciudadanas han ido en aumento (Ortiz, 2013). Las razones de ellas son muy variadas, desde fallas del sistema político hasta reclamo por los derechos de las personas. Chile no ha sido la excepción, y en especial la minería ha debido enfrentar conflictos con las comunidades que habitan dentro de su área de influencia. Algunos conflictos han alcanzado niveles internacionales aumentando su visibilidad y la cantidad de actores involucrados (Urkidi, 2009).

Es claro que el futuro de la minería en Chile, y la materialización de los 7,5 millones de TM anuales de producción al 2035 dependen fundamentalmente de la ejecución de expansiones a las faenas existentes, y de la materialización de nuevos proyectos. La viabilidad de esta expansión depende en gran medida de la así llamada “licencia social”.

La minería en Chile se emplazada principalmente en las zonas desérticas del norte del país. [107] Dadas las características geográficas de dicho entorno, existen pocas comunidades dentro de las zona de influencia de las actuales faenas mineras. Sin embargo, se estima que la mitad de las reservas de cobre, y los futuros yacimientos del país, están en la zona central (IV, V, VI y RM) por lo que el potencial de conflicto aumenta con la mayor densidad poblacional. La competencia por territorio (y por factores como el agua) será fundamental para la minería del futuro, y por ende las relaciones de las empresas mineras con el entorno[108] y las comunidades pasan a tener una importancia estratégica mayor a la actual, y creciente en el tiempo.

Una buena relación con las comunidades implica mayor legitimación de la operación, y potencialmente menores conflictos. Esto puede generar (amplios) beneficios para las comunidades y empresas, asegurando la continuidad operacional de proyectos activos y habilitando nuevas expansiones. En ausencia de esta mejor relación con sus áreas de influencia las empresas pasarán a tener mayores costos explícitos e implícitos, y un creciente pasivo social.

El capítulo se estructura de la siguiente manera. En la siguiente sección se describen los impactos y desafíos de la actividad minera vinculados a comunidades. En la sección 6.3 se examinan distintos tipos de conflicto y sus costos. La sección 6.4 analiza la "Licencia Social" para Operar y sus implicancias. La sección 6.5 aborda las actuales iniciativas en Chile. La sección 6.6 analiza tres casos de estudio: Los Pelambres, Cerro Colorado y Rockwood Lithium. Finalmente, la sección 6.7 presenta los hallazgos preliminares del capítulo.

[107] Ver Anexo – Figura A.6.1 Mapa de Principales Operaciones Mineras en Chile a Marzo 2016.
[108] Existen diversas dimensiones de relación de la actividad minera con el entorno tales como el proceso de aprobación de proyectos, el impacto ambiental, la relación con las comunidades, entre otras. Dichas dimensiones se interrelacionan entre sí y son abordadas parcialmente en este trabajo pero el foco principal está en la relación con las comunidades. La interrelación es considerada en la revisión de lo que se está realizando en Chile, sección 6.5.

6.2 Impactos y desafíos de la Minería en su relación con Comunidades

La minería es una actividad extractiva industrial que por su naturaleza conlleva impactos en el entorno en sus distintas etapas. En pos de una minería sostenible en el largo plazo es fundamental que dichos impactos sean prevenidos, mitigados y compensados. Según la experiencia de países desarrollados, la minería puede llegar a ser una industria "limpia" y sustentable. El *International Institute for Environment and Development* (2002) presenta una serie de impactos y desafíos los cuales abordamos a continuación ilustrando con experiencias internacionales en algunas dimensiones.

1. Impacto Ambiental

Los impactos ambientales causados por la minería son amplios. En las etapas de exploración y desarrollo de una faena minera se generan perturbaciones en el territorio[109]. En la etapa de operación se concentra el grueso del impacto de la minería (rajo abierto) debido principalmente al levantamiento de material particulado. Adicionalmente, el proceso de planta (concentración o hidrometalurgia) posee impactos como el uso de aguas, y la disposición de los relaves/riles/ripios. Las fundiciones y refinerías generan emisiones de CO2, arsénico, CO2 y H2SO4. El impacto de la minería sobre el medio existe, pero puede ser prevenido, mitigado y compensado. Este corresponde al principal problema al momento de relacionarse con comunidades.

En un extremo, el caso de minera Samarco en Minas Gerais, Brasil, es emblemático. En 2015 dos diques de contención cedieron liberando 62 millones de metros cúbicos de barro tóxico en las comunidades aledañas, y hasta el Océano Atlántico, en lo que representa el peor desastre ambiental de la historia en América Latina. La reparación

[109] Debido a los múltiples sondajes que hay que realizar.

exigida por el gobierno brasileño a las empresas mineras fue de US$43.550 millones[110].

2. Cambios Demográficos

La minería en sus distintas etapas genera cambios demográficos importantes en las localidades aledañas. Durante la etapa de construcción de una faena minera se requiere una cantidad de trabajadores que normalmente no es capaz de ser absorbida exclusivamente por las comunidades del entorno. En dicho caso, se genera una expansión demográfica (migración) temporal, en general por un período mínimo de dos años, lo que permite desarrollar actividades económicas como servicios de alojamiento, seguridad, y alimentación, entre otros. Sin embargo, también pueden generar problemas como prostitución, drogas y violencia (World Bank, 2002). Lo anterior es agravado cuando la población afectada es indígena y socava su cultura, y cuando el Estado y sus estructuras se encuentran ausentes.

Algo similar ocurre en la etapa de operación de la faena. La modalidad de trabajo con trabajadores no residentes del entorno (*fly in-fly out*) evita parte de estos conflictos, pero deja menos beneficios económicos en la zona.

3. Manejo y uso de la tierra

El uso de la tierra siempre ha sido una fuente de conflicto en minería. Siendo principalmente expansiva, la minería quita terreno a otras actividades como la agricultura, pequeña y mediana minería. Por ejemplo, durante la etapa de operación de un faena minera se requiere de grandes extensiones de terreno para la construcción de tranques de relaves, así como de botaderos para disponer del material estéril. Esto genera problemas con las comunidades pues ven su estilo de vida y fuente de ingresos afectada de manera directa. Implican también un impacto visual.

En Ghana existe conflicto entre la pequeña y gran minería donde pequeños mineros explotan ilegalmente dentro de terrenos concesionados a grandes empresas (Hilson,

[110] Equivale a un año y cuatro meses de exportaciones mineras de Chile aproximadamente.

2002). La reforma gubernamental ha dado prioridad a grandes empresas mineras, y ha dejado en segundo plano las preocupaciones de la población indígena (Hilson & Yakovleva, 2007). Hilson (2002) sugiere que los gobiernos debiesen asumir la responsabilidad de coordinar los esfuerzos de las empresas mineras y agencias internacionales para administrar mejor el uso de la tierra.

Aunque este conflicto ha sido menor en Chile, su baja incidencia se debe a la ubicación geográfica de los yacimientos actuales. A futuro, con la expansión de la minería en la zona centro del país, este aspecto se tornará más importante.

4. Fuga de recursos

Una potencial riesgo de incremento en el conflicto ocurre cuando las comunidades perciben que las externalidades (negativas) del proyecto son mayoritariamente asumidas por ellos, mientras que los beneficios quedan fuera de la zona de impacto. Así, las comunidades se ven "pagando el costo", sin disfrutar del beneficio.

Una medida para mitigar esta situación es determinar un porcentaje de los ingresos de la empresa minera y/o de los impuestos que genera la actividad a la región donde se genera. Existen ejemplos de dichas prácticas. En 2001 Perú aprobó el Canon Minero, una participación de los gobiernos locales y regionales sobre los ingresos y rentas del Estado, los que sólo pueden ser invertidos en proyectos de infraestructura. En 2009 Indonesia aprobó una ley similar, que estipula que las compañías que extraen carbón o minerales deben pagar al gobierno central un 4% de los ingresos y a los gobiernos regionales un 6% (1% al gobierno regional, 2.5% al distrito o ciudad donde se generan las ganancias y un 2.5% a los demás distritos o ciudades)[111]. En Inglaterra se ha negociado un 1% para las comunidades aledañas a futuros pozos de *fracking*[112] (Finlayson et al., 2016).

[111] http://faolex.fao.org/docs/pdf/ins85947.pdf artículo 129
[112] El *fracking* es una técnica para posibilitar o aumentar la extracción de gas y petróleo del subsuelo.

5. Asimetrías de información

En general, las comunidades se encuentran en desventaja al enfrentarse a negociaciones con empresas mineras debido a que, carecen del conocimiento técnico para comprender el impacto de los proyectos de inversión (Social Economic Enviromental, 2006). Por tanto, comunicar oportunamente las etapas e impactos del proyecto, considerando asesores externos elegidos por la comunidad aumentaría la confianza entre los actores. La comunicación efectiva es crucial, y sostener reuniones públicas donde se puedan expresar preocupaciones e informar sobre la operación son sumamente importantes (Hilson & Murck , 2000).

Si bien los reportes de información han aumentado (y su transparencia) pocos son verificables (IIED, 2012). Lo que implica que los problemas derivados de las asimetrías de información persisten.

6. Gobernanza

En lugares donde la presencia del Estado es débil, la comunidad recurre a la empresa para solventar necesidades en términos de infraestructura, educación, salud, y otros gastos considerados sociales, lo que aumenta las expectativas de las comunidades y los costos de relacionamiento de las empresas.

En síntesis, la minería genera impactos en su entorno de influencia tales como externalidades negativas en términos ambientales, competencia por el territorio y sus recursos, cambios demográficos, etc. También enfrenta una serie de desafíos entre los cuales se encuentran la fuga de recursos, las asimetrías de información con las comunidades, y temas de gobernanza debido a la ausencia del Estado. Todas estas características de la actividad minera pueden generar conflictos con las comunidades los cuales categorizamos en la siguiente sección.

6.3 Posibles conflictos con comunidades y costos

Davis y Franks (2014) realizan un análisis profundo de conflictos con comunidades y sus costos asociados en el sector minero. La Tabla 6.1 presenta las distintas formas de manifestación de los conflictos entre empresa y comunidades. Frecuentemente, el

tipo de conflicto se concentra en aquellos basados en procedimientos administrativos o legales, entre otros. Asimismo, el grado de violencia de los mismos es variable, pudiendo escalar hacia un mayor nivel de violencia y la radicalización.

Tabla 6.1 Conflicto con comunidades

Basados en Procedimientos (generalmente no violentos)	Solicitudes: al gobierno (local/regional/nacional) o empresa (subsidiaria o matriz)
	Administrativos: reclamo formal a través de mecanismo estatal u otro (e.g: organismos internacionales)
	Legales: acciones en la jurisdicción de la faena/la casa matriz, acciones grupales, mandatos judiciales
	Publicitarios: uso de medios de comunicación, campañas, ONGs
Protestas físicas (pueden ser violentas o no)	Demostraciones: a nivel local/regional/nacional; con trabajadores mineros (huelga) y/o la comunidad
	Bloqueos: a la faena, rutas de acceso, carreteras, vías férreas, puertos
Violencia hacia personas	Heridas: miembros de la comunidad, trabajadores de la empresa, fuerzas de seguridad público y/o privadas
	Muertes: miembros de la comunidad, trabajadores de la empresa, fuerzas de seguridad público y/o privadas
Violencia a la propiedad	Propiedad privada: daños o destrucción de equipos/instalaciones/edificios; interferencia con infraestructura privada; escala pequeña/grande
	Propiedad pública: daños o destrucción de equipos/instalaciones/edificios; interferencia con infraestructura pública; escala pequeña/grande

Fuente: Adaptado de Davis y Franks (2014)

Los conflictos afectan por múltiples canales los costos y la productividad de las empresas mineras (ver Tabla 6.2). En términos de productividad se cuenta la pérdida de continuidad operacional, detenciones no planificadas, limitación a cambios en el diseño de plantas, o limitación en las posibilidades de expansión del proyecto.

Asimismo, existen importantes costos en términos de la productividad laboral, debido a que los conflictos pueden afectar directamente a los trabajadores. Un costo relevante son las horas de trabajo de los ejecutivos más importantes en resolver conflictos, en lugar de dedicarse a procesos productivos. Los conflictos también hacen difícil contratar nuevos talentos, o arriesgan perder a los que ya trabajan en la empresa.

Otros costos explícitos que también afectan la productividad, tanto en el corto como en largo plazo, se da por la necesidad de utilizar más recursos para producir la misma cantidad de mineral. Ejemplos de este son modificaciones de proyectos, manejo de riesgo, capital y financiamiento, entre otros[113].

Tabla 6.2 - Tipos de costos a empresas mineras debido a conflictos con comunidades

Menor Productividad	Discontinuidad operacional; cierre voluntario/obligado debido a judicializaciones
	Cierre temporal de operaciones
	Oportunidades perdidas de expansiones y/o nuevos proyectos
	Disrupciones a la producción: atrasos temporales o indefinidos, ausentismo, "ruedas cuadradas"
	Retrasos en entregas de insumos
	Mayor escrutinio y carga regulatoria
Personal y Trabajadores	Tiempo del personal y equipos dedicado a manejo de riesgo y conflicto
	Costos de remediación: reuniones, negociaciones, mediadores
	Secuestros: pagos y operaciones de rescate, compensaciones
	Arrestos de personal
	Heridas a trabajadores y fatales
	Bajo ánimo y efectos vinculados a estrés
	Mayores costos de retención: salarios, compensaciones, bonos
	Reclutamiento: promoción, selección, entrevistas, inducciones

Fuente: Adaptado de Davis y Franks (2014)

Según Davis y Franks (2014), una empresa minera de clase mundial pierde producto de la paralización de sus faenas unos US$20 millones a la semana. El mayor costo indirecto sería resultado de costos de oportunidad al no poder realizar expansiones, nuevos proyectos o ventas perdidas. Incluso pudiendo llevar adelante estos proyectos, el esfuerzo extra en términos de recursos necesario para romper la resistencia social es altísimo.

Algunos costos son difíciles de percibir, por lo que las empresas tienden a subestimar lo que significa tener una mala relación con las comunidades dentro de su zona de

[113] Ver Anexo Tabla A.6.1 – Tipos de costos a empresas mineras debido a conflictos con comunidades (continuación).

influencia. Los beneficios en cambio son claros, una buena relación entre empresas mineras y comunidades impacta positivamente a la productividad por dos canales principalmente: la continuidad operacional de las faenas actuales, y la viabilidad de proyectos futuros. En ambos casos este aspecto es de crucial importancia para el sector en Chile.

6.4 Licencia Social para Operar (LSO)

Tradicionalmente, la forma de relacionamiento entre las empresas mineras y las comunidades ha sido transaccional o asistencial. Es decir, mediante la entrega de recursos–generalmente monetarios—directamente a la comunidad. Sin embargo, ello no garantiza que los recursos sean aprovechados de la mejor manera, no facilita el desarrollo de una visión compartida que aminore la posibilidad de futuros conflictos, ni asegura que otros grupos (incluso dentro de la misma comunidad) desafíen los resultados de dicha relación.

Una buena relación entre empresas y comunidades implica el desarrollo y mantención de la denominada "Licencia Social para Operar" (LSO en adelante). Este concepto ha ganado espacio en el sector minero y se caracteriza, principalmente, por el nivel de legitimidad social que posee una empresa para operar. En mayor medida, la LSO es "expedida" u "otorgada" por los más afectados por la operación, que generalmente son las comunidades aledañas, y dentro de la zona de influencia. En ese sentido, la LSO es tácita y por ende es frágil y debe ser cuidada de manera constante.

La carencia de una LSO es identificada como uno de los 5 mayores riesgos de la minería en la actualidad (EY, 2015), y considera incluso el daño reputacional al cerrar una faena. Si bien es cierto que el negocio central de las empresas mineras es la extracción y procesamiento de minerales, y no el relacionamiento con sus vecinos, esta área del negocio es fundamental para asegurar la continuidad de las operaciones, y el valor presente de futuras expansiones (Kemp & Owen, 2013)[114].

[114] No es el giro de negocios pero es central para habilitar dicho giro.

Para establecer una LSO se deben considerar distintos factores: el contexto, el relacionamiento, la sustentabilidad, beneficios locales y la adaptabilidad (Prno, 2013). Además de la adecuada mitigación de los impactos, es fundamental mantener un trato justo y un relacionamiento de calidad con las comunidades. (Moffat & Zhang, 2013). La mezcla entre las expectativas externas y la aversión al riesgo de las partes, puede llevar a confundir el espíritu de la LSO y centrar los esfuerzos en reducir—en el corto plazo—la oposición a la empresa, y no a trabajar en desarrollo a largo plazo (Owen, 2012).

El desarrollo de confianza entre la empresa y las comunidades es unos principales desafíos para la obtención de la LSO, lo que se acentúa en países como Chile con bajos niveles de confianza interpersonal. En el caso específico de Chile (Moffat et al., 2014; MORI, 2015): los chilenos consideran importante a la minería, pero se percibe que hay poca influencia de la ciudadanía en las decisiones importantes del sector, y que el impacto positivo es menor en aquellas personas cerca de las operaciones. En el país se reconoce la importancia del sector, pero no confía en las empresas. Esto es sumamente nocivo a la hora de mantener relaciones, pues las empresas deben comenzar desde cero a construir las confianzas necesarias para obtener su LSO.

En breve, una buena relación con las comunidades implica una mayor legitimación de la operación de la empresa minera mediante la obtención de una LSO. Esta mayor legitimación puede generar amplios beneficios para las comunidades y empresas permitiendo la continuidad operacional de proyectos activos y habilitando nuevas expansiones. De no tenerla, las empresas pasarán a tener mayores costos explícitos e implícitos.

6.5 ¿Qué se está haciendo en Chile?

Existen diversas formas de abordar la relación empresa-comunidades, y la resolución de conflictos que puede surgir de dicha dinámica. Las vías para resolución de conflictos pueden clasificarse en: (i) administrativas mediante instituciones públicas con funciones específicas y competencias acorde a dichas funciones, (ii) informal entre comunidades y empresas mediante acuerdos tácitos, y (iii) judicial vía tribunales.

La vía óptima para la resolución dependerá del tipo de conflicto, mientras que la forma de relacionamiento de las empresas con las comunidades dependerá de las características propias de la operación, y su ubicación. Si es claro una tendencia internacional que apunta a reducir el peso de la relación empresa-comunidad (informal) y trasladar parte de ello a nuevas instancias locales, regionales y/o nacionales[115].

Las principales iniciativas recientes en Chile para fortalecer el marco institucional entre comunidades y empresas han sido Valor Minero y la Comisión Asesora Presidencial para el Servicio de Evaluación Ambiental.

Valor Minero es una alianza público-privada que está llevando a cabo el proyecto de innovación institucional de "Diálogo Permanente para Grandes Proyectos" impulsado por una alianza pública-privada. Dicho proyecto busca solucionar el déficit de institucionalidad para la resolución de conflictos que traban grandes proyectos (no sólo en minería sino que también en energía). El 2016, el proyecto recibió financiamiento a través del Fondo de Inversión Estratégica (FIE) por US$3 millones de dólares por tres años y se iniciaron dos pilotos para testear el modelo.

El proyecto consta de cuatro partes: (i) la creación de la Oficina de Grandes Proyectos en el Ministerio de Economía, (ii) establecer un sistema de diálogo permanente con comunidades, inserto en el mecanismo de evaluación ambiental de manera que se pueda cuantificar los efectos del proyecto, (iii) implementar un sistema de resolución de controversias y conflictos en el cual los actores puedan solicitar una mediación, arbitraje o conciliación, y (iv) establecer una entidad certificadora que habilite y potencie a las organizaciones que participan en el proceso de diálogo.

El Servicio de Evaluación de Ambiental (SEA) creado en 1994 es la agencia pública con la misión de gestionar e implementar el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Durante 2015, se desarrolló una Comisión Asesora Presidencial

[115] El plan nacional debiese sentar una base común entre regiones independiente de la preferencia del gobierno regional evitando una superposición de gobiernos.

para reformular el SEIA[116], la que entregó 25 propuestas de amplio alcance para mejorar el funcionamiento del sistema.

Otro tema de interés es la consulta indígena. Chile ha suscrito algunos acuerdos internacionales relevantes como el Convenio Organización Internacional del Trabajo Nº 169. El año 2008 fue ratificado por Chile y entró en vigencia en septiembre de 2009. Este tratado estipula la consulta a dichas comunidades sobre medidas legislativas y administrativas que pudiesen afectar a estos pueblos originarios. En el marco de la relación entre empresas mineras y comunidades es fundamental pues afecta directamente la forma y posibilidad de aprobar proyectos de inversión que tengan dentro su área de influencia a pueblos indígenas.

6.6 Estudio de Casos

En esta sección se estudian tres experiencias nacionales: Minera Los Pelambres, Minera Cerro Colorado y Rockwood Lithium. Para ello se recopiló información primaria a través de la realización de más de 20 entrevistas a distintos actores involucrados y expertos: entidades gubernamentales, empresas mineras, comunidades afectadas, asesores, académicos y organizaciones no gubernamentales (ONG). Lo anterior fue complementado con fuentes de información de carácter secundario.

Nuestros casos consideran operaciones ubicadas en distintas regiones, con minería metálica y no metálica, presencia de comunidades indígenas, y diferencia en la propiedad (ver Tabla 6.3).

Tabla 6.3 - Características Faenas Mineras

	Región	Nacionalidad de la Empresa	Material	Tipo de Minería	Comunidades Indígenas
Los Pelambres	IV	Chilena	Cobre	Metálica	No
Cerro Colorado	I	Extranjera	Cobre	Metálica	Sí
Rockwood Lithium	II	Extranjera	Litio	No Metálica	Sí

Fuente: Elaboración propia

[116] http://comision-seia.mma.gob.cl/

- Los Pelambres

Minera Los Pelambres pertenece al grupo minero chileno Antofagasta Minerals. Está ubicada en el valle del Choapa en la IV región a 45 km de Salamanca[117]. En operación desde 1999, es la séptima mina de cobre más importante del mundo, y produce concentrado de cobre y molibdeno. Posee una capacidad de procesamiento de 210 mil toneladas de mineral diario. Por su ubicación, tranque de relaves, puerto y concentraducto se encuentra emplazada cerca de comunidades urbanas con las que ha tenido diversos conflictos. El caso más emblemático es el conflicto con Caimanes, comunidad ubicada cerca del tranque de relaves El Mauro y que, a través de procesos judiciales, ha exigido la demolición de éste.

La relación de Pelambres con las comunidades no ha sido fácil y su modelo relacional ha evolucionado a través del tiempo. Los inicios fueron bastante complejos, especialmente en lo referente al tranque El Mauro. Inicialmente, el modelo se centró en la creación de la Fundación Minera Los Pelambres a través de la cual se apoya a las comunidades y emprendimientos no relacionados con minería. A partir de 2013, se evolucionó mediante la creación del programa Somos Choapa cuyo enfoque es el trabajo en conjunto con autoridades locales para crear y ejecutar planes de desarrollo sustentable para la zona.

A finales de 2013, se levantó información de base a través de consultores externos a la empresa. Los resultados de dicho estudio confirmaron que, hasta ese entonces, la relación se basaba en mitigar y reparar los impactos ambientales, por lo que se supeditaba a los incidentes que ocurrían. No había colaboración para el desarrollo local de largo plazo. Sin embargo, la empresa había tomado alrededor de 600 compromisos voluntarios con el territorio pero estos no tenían un foco determinado y, adicionalmente, sufrían de baja visibilidad.

[117] Ver Anexo Figura A.6.2 – Ubicación Minera Los Pelambres.

Actualmente se ha puesto foco en las inversiones tanto de corte social como de infraestructura, de tal manera de hacerlas más visibles para la comunidad. Además, se han hecho foros abiertos de diálogo para recoger inquietudes de la comunidad y sus visiones sobre el desarrollo futuro del valle de Salamanca. Los foros se han hecho por localidades, entendiendo que las necesidades de la zona no necesariamente coinciden. Para ello, se han abierto casas donde la población puede acercarse a preguntar sobre el programa.

Este aumento de visibilidad ha aumentado la confianza en la empresa, dado que la población tiene mayor claridad de los aportes y del cumplimiento de metas. El canal de comunicación se ha unificado siendo más directo y abierto. Finalmente, la información que maneja la empresa se comparte con los interesados lo cual favorece la transparencia entre las partes.

Independiente de esta nueva forma de llevar las relaciones, se han mantenido las prácticas anteriores de monitoreo de las condiciones del valle, así como la relación y los aportes a ciertas instituciones como la Junta de Vigilancia de Recursos Hídricos.

La municipalidad de Salamanca ha participado activamente en el proceso de relacionamiento. Sabiendo que algunas comunidades no se sienten representados por ellos, han hecho un esfuerzo por acercar a la municipalidad a esas localidades más alejadas.

Todos los agentes entrevistados coinciden con una gran falta de un gobierno regional que asuma labores de coordinación: cada comuna maneja peticiones por separado pero muchas coinciden. En muchos casos, los proyectos no son viables visto a nivel de localidad debido a la escala, pero la unión de varias sí entregaría el tamaño mínimo. Por ejemplo, argumentan que si el Estado estuviese presente de manera activa en estos procesos, se podría coordinar un hospital que sirva a toda la zona.

Una de las principales observaciones desde las comunidades es que el Estado no conversa entre sí. Los organismos estatales tienen dificultades para trabajar coordinadamente, lo que lleva a que algunas ejecuciones de proyectos no sean factibles debido a que no son compatibles con proyectos en funcionamiento (o

futuros), o bien porque las definiciones en algunos temas no es claro a qué organismo le compete (vacíos regulatorios).

Existe la impresión general que los organismos estatales son muy rígidos y no aceptan discutir temas que no estén relacionados de forma directa a los proyectos. Esto, considerando la heterogeneidad de la relación empresa-comunidades, suele entorpecer el desarrollo de las iniciativas.

Asesores externos a las comunidades y empresas consideran que la existencia de un tercer actor, como el Estado, puede ayudar en este tipo de situaciones como mediador. Ello también puede ayudar a formar una cartera integrada de proyectos entre la municipalidad y la empresa minera. Esto resulta crítico a la hora de formalizar las relaciones empresa-comunidad, pues si los procesos formales y administrativos son vistos como impedimento, la comunidad no aceptará su participación.

- Cerro Colorado

Cerro Colorado es propiedad de BHP Billiton, ubicada en la región de Tarapacá se encuentra en operación desde el año 1994[118]. Produce cátodos de cobre con 74.482 toneladas de cobre fino en 2015. Originalmente debía cerrar el año 2016, pero se extendió el tiempo de vida de la operación por otros 7 años. La extensión del tiempo de vida requería la extracción de agua desde un bofedal y continuar la extracción de agua desde el sector de Lagunillas, de modo que la empresa se acercó a las comunidades para obtener el permiso ambiental correspondiente.

Existen cuatro comunidades indígenas de origen aimara y quechua dentro del área de influencia de la operación. El proceso de relacionamiento se realizó de forma temprana, participativa y horizontal. A pesar de ser un proyecto previo a la consulta

[118] Ver Anexo Figura A.6.3 – Ubicación Cerro Colorado.

indígena, se utilizaron los estándares del artículo 169 de la Organización Internacional del Trabajo[119].

Las comunidades tenían ciertas expectativas: ser consultadas, tener capacidad de veto y, a través del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), lograr solucionar temas de desarrollo comunitario. El desafío fundamental para la empresa minera fue formar confianza con las comunidades. Con ese objetivo se enfocaron en el cierre de brechas de información mediante tres medidas: (i) otorgar acceso a la faena, (ii) monitorear constantemente las condiciones de la zona, y (iii) costear los gastos de asesores elegidos por las mismas comunidades, quienes les ayudaron a conocer los procesos de la operación.

También se negociaron compensaciones retroactivas, lo que llevó finalmente a un acuerdo de colaboración que incluye mecanismos de solución de controversias y un monto de dinero para el desarrollo comunitario de asignación directa a la comunidad. El gasto de dicho monto debe ser rendido anualmente para habilitar el siguiente pago, lo cual permite una rendición de cuentas transparente. El gasto máximo destinado a la administración de este dinero se fijó por contrato en un porcentaje.

Inicialmente, las comunidades no estuvieron a favor de la extensión del proyecto. Existía un mala relación, pues en años previos se habían reportado daños a geoglifos lo cual se agravaba con el desconocimiento del número real y locación de elementos arqueológicos en la zona. El proceso de participación ciudadana se hizo antes que la consulta indígena y con poca información. Las negociaciones se llevaban en mesas de trabajo con las comunidades por separado—sin representación indígena, donde llegaban a acuerdos disimiles por mesas, generando conflicto al obtener condiciones disimiles. Por ejemplo, algunas negociaciones se llevaron a puertas cerradas sin consultar a las comunidades afectadas. Adicionalmente, la población flotante y otros impactos afectaban de forma directa a las comunidades. Eventualmente, los dirigentes

[119] Dicho tratado fue suscrito por Chile el año 2008.

de las comunidades impidieron la firma de las consultas pues consideraban que el proceso se llevaba a cabo de manera incorrecta.

Al constituirse la comunidad indígena, el trato asistencialista dio paso a programas de desarrollo. Se hizo un catastro arqueológico que permitió la reconstrucción de la historia de la zona y, por lo tanto, favoreció una mayor identidad de los pueblos originarios. Se incluyeron los objetivos de desarrollar turismo en la zona (desplazado por la minería), desarrollar la agricultura y los productos locales. Se espera que esto revierta la migración de las comunidades a las ciudades, de manera de mantener la identidad de los pueblos originarios.

Existe un consenso en la poca presencia del Estado en la zona. Específicamente, las comunidades piden más recursos para el SEA, quien en zonas extremas cuenta con poca dotación, y se resalta que en las zonas cercanas de empresas mineras reciben menos recursos debido a que cuentan con el apadrinamiento de este tipo de empresas. Un ejemplo de ello es que Cerro Colorado, como empresa minera, es el designado para acudir en caso de emergencia a las localidades cercanas por un terremoto u otro desastre. Asimismo, existen otros reclamos tales como la falta de capacitación, problemas para la postulación a fondos[120] y falta de orden y claridad en el proceso de consultas.

- Rockwood Lithium

Rockwood Lithium es propiedad de la empresa estadounidense Albemarle. Entró en operación en la década de los 80 y se ha dedicado al procesamiento de salmueras y su transformación en sales de litio. Su planta productiva se ubica en el extremo sur del Salar de Atacama[121].

La empresa ha mantenido relaciones con el pueblo de Peine, el más cercano a sus instalaciones. Sin embargo, en el año 2010 se rechazó su intención de aumentar su cuota de extracción de salmuera. Por lo tanto, antes de presentar un nuevo proyecto,

[120] Debido a que no son dueños de sus tierras, estas pertenecen a Bienes Nacionales.
[121] Ver Anexo – Figura A.6.4 Ubicación Rockwood Lithium.

se mejoraron las relaciones con las comunidades del Salar. En 2012 comenzó un diálogo con el Consejo de Pueblos Atacameños (CPA) que agrupa 18 comunidades, con mesas de trabajo permanentes, un plan de vigilancia ambiental y un aporte sobre los ingresos brutos. En 2014 se establece un protocolo con las comunidades y en 2016 se firma un convenio con acuerdos vinculantes. Dicho convenio incluye un monitoreo participativo—incluyendo puntos de interés exclusivos de las comunidades, entrega de información ambiental a las comunidades, capacitaciones ambientales cuatro veces al año, y compartir un porcentaje de los beneficios.

El monto pactado a compartir fue de 3,5%, número que no fue negociado con la empresa, sino determinado en la Comisión del Litio (donde autorizaron la participación del CPA). El porcentaje se divide en 3% a las comunidades y el 0,5% para innovación. El CPA está desarrollando productos autóctonos[122] como actividad económica complementaria, lo cual favorece la sostenibilidad de la comunidad en el largo plazo.

En paralelo, el CPA, con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), tiene planes de construir dos plantas fotovoltaicas para alimentar a Rockwood y a San Pedro de Atacama. Esto permitiría, no sólo aumentar el desarrollo de la zona, si no incluir formalmente al BID en este proceso. A Noviembre 2016, el BID y el CPA se encuentran trabajando para fortalecer los convenios a firmar y robustecer la asignación y uso de fondos. Desde el CPA critican la ausencia del Estado, pero consideran que el trabajo del BID como tercera parte ha sido beneficioso.

[122] Barras energéticas en base a quínoa, cultivo de papa y alcoholes de algarrobo y chañaral.

6.7 Resultados Preliminares

Implementar políticas de relacionamiento con comunidades es una tarea compleja debido a que cada territorio es fundamentalmente distinto a los demás. La complejidad se acrecienta con la presencia de grupos étnicos indígenas. Por esto no existe una fórmula única, pero sí principios relevantes a considerar.

Nuestros tres casos de estudio (Pelambres, Cerro Colorado y Rockwood) partieron con un rechazo inicial, en mayor o menor grado, por parte de las comunidades aledañas. En general, el proceso de relacionamiento es de largo plazo para que sea exitoso.

En todos los casos, la creación de confianza fue de la mano de mayor información entre las empresas mineras y las comunidades. La reducción de las asimetrías de información puede ser llevada a cabo por distintas vías: monitoreo permanente, inversiones más tangibles, visitas a faena, unificación de canales de comunicación, entre otros.

No obstante, existen requisitos relevantes para el diálogo exitoso. Idealmente la comunidad debe constituirse como una entidad única y nítida (Cerro Colorado), mientras que en otros el gobierno local puede ayudar a agrupar las distintas comunidades (Pelambres). En uno de los casos estudiados, el diálogo comenzó a fructificar una vez que las reuniones no consideraron a los asesores legales de ambas partes. Finalmente, los resultados de un buen relacionamiento que habiliten el futuro de la faena se materializan en acuerdos vinculantes entre las partes.

En ocasiones las empresas mineras tienen varias comunidades en su área de influencia. El reconocimiento de distintas comunidades con necesidades específicas permite una mejor focalización de los esfuerzos por parte de la empresa minera y, adicionalmente, reduce los conflictos internos entre las comunidades. En ese sentido, es fundamental el hecho de que los planes de desarrollo acordados se vayan gestando a través de consultas a la comunidad. Ir más allá del estándar favorece la obtención de la LSO, por ejemplo, Cerro Colorado que utilizo los estándares de la consulta indígena pese a ser una operación previa a la firma de dicho tratado. Sin embargo, la fragmentación

de los esfuerzos puede reducir economías de escala en la intervención que irían en beneficio directo de las comunidades.

Tanto empresas como comunidades mencionan espacios de mejora para el Estado, en particular las fallas de coordinación entre organismos públicos debido a una falta de diálogo entre sí. En ese sentido, destaca el rol que pueden jugar intermediarios de confianza como el BID en el caso de Rockwood Lithium, actuando como garante y estableciendo un marco de trasparencia de largo plazo para la entrega de fondos.

Es importante no confundir el rol de la empresa con el rol de Estado. Es posible que en zonas alejadas de la actividad económica del país donde el Estado no se encuentra presente, las comunidades le exijan a las empresas suplir las falencias en provisión de ciertos bienes públicos (p.e., salud, educación, etc.), pero dicho relacionamiento no puede ser sostenido en el tiempo. Aunque es posible que las empresas hagan aportes para mejorar las condiciones sociales generales del entorno, este rol es del Estado. Igualmente, la capacidad del gobierno de manejar –eficiente y transparentemente— las inversiones de recursos contribuidas por las empresas y sus implicancias es uno de los desafíos más grandes (IIED, 2012).

El modelo de diálogo para grandes proyecto de Valor Minero y la revisión del SEIA son acciones en la dirección correcta y parte importante de la solución para favorecer un mejor vínculo de empresa y comunidades. Sin embargo, una de las principales inquietudes de las comunidades es: ¿qué queda en el territorio una vez que el proyecto se termine? En el mejor de los casos, dicho problema se soluciona creando capacidades que generen actividad económica por parte de la comunidad tales como la inversión en energía fotovoltaica en Rockwood Lithium, o proyectos de desarrollo productivo de largo plazo.

Hallazgo 6.1: *La información temprana, continua, certera y confiable entre las partes es fundamental para la creación de confianza entre comunidades y empresa minera.*

Hallazgo 6.2: *El Estado y los gobiernos locales son actores fundamentales en la relación empresa-comunidad. La transparencia y credibilidad de estos, además de su*

capacidad de gestión, resultan determinantes para viabilizar soluciones de largo plazo y mutuo beneficio.

Hallazgo 6.3: *El Estado no es el único que puede acudir de garante a un proceso de relacionamiento empresa-comunidad, otras instituciones puede reemplazarlo en ese rol.*

Hallazgo 6.4: *La claridad regulatoria, en aspectos como los derechos de agua, tierras, etc., es fundamental para establecer un marco base sobre el que los actores puedan conversar.*

REFERENCIAS

Davis, R. & Franks, D. (2014). Costs of Company-Community Conflict in the Extractive Sector. Cambridge, MA: Harvard Kennedy School: Corporate Social Responsability Initiative Report No. 66.

EY (2015) Riesgos de la industria minera 2015-2016: Impulsando el desarrollo del sector.

Finlayson, H., Ares, E., Smith, L., & Keep, M. (2016). Shale Gas and Fracking. Londres: House of Commons.

Hilson, G. (2002). An overview of land use conflicts in mining communities. Land Use Policy, 65-73.

Hilson, G. (2002b). Land use competition between small- and large-scale miners: a case study of Ghana. Land Use Policy, 149-156.

Hilson, G., & Murck, B. (2000). Sustainable development in the mining industry: clarifying the corporate perspective. Resources Policy, 227-238.

Hilson, G., & Yakovleva, N. (2007). Strained relations: A critical analysis of the mining conflict in Prestea, Ghana. Political Geography, 98-119.

International Institute for Environment and Development (2002). Breaking New Ground: Mining, Minerals and Sustainable Development.

International Institute for Environment and Development (2012). MMSD+10: Reflecting on a decade of mining and sustainable development. London.

Kemp, D., & Owen, J. R. (2013). Community relations and mining: Core to business but not "core business". Resources Policy, 523-531.

Moffat, K., & Zhang, A. (2013). The paths to social licence to operate: An integrative model explaining community acceptance of mining. Resources Policy, 61-70.

Moffat, K., Zhang, A., Lacey, J., Boughen, N., Fleming, D., & Uribe, K. (2014). Percepciones chilenas hacia la minería: Encuesta a la ciudadanía – Resultados 2014. Australia: CSIRO.

MORI (2015). Minerobarómetro 2015.

Ortiz, I. (2013). World Protest 2006 - 2013. Initiative for Policy Dialogue.

Owen, J. (2012). Social licence and mining: A critical perspective. Resources Policy, 29-35.

Prno, J. (2013). An analysis of factors leading to the establishment of a social licence to operate in the mining industry. Resources Policy, 577-590.

Social Economic Enviromental. (2006). Community Engagement and Development.

Urkidi, L. (2009). A glocal enviromental movement against gold mining: Pascua-Lama in Chile. Ecological Economics, 219-227.

World Bank (2002). Large Mines and Local Communities: Forging Partnerships, Building Sustainability. Mining and Development.

ANEXO

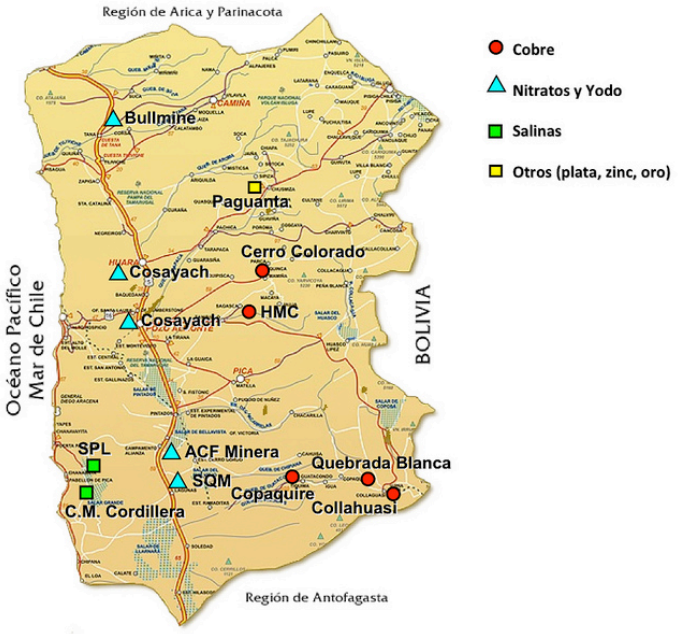
Figura A.6.1 - Mapa de Principales Operaciones Mineras en Chile (a Marzo 2016)

Fuente: Consejo Minero

Figura A.6.2 – Ubicación Minera Los Pelambres

Fuente: Minera Los Pelambres

Figura A.6.3 – Ubicación Cerro Colorado



Fuente: SEREMI Minería, Región de Tarapacá

Figura A.6.4 – Ubicación Rockwood Lithium

Fuente: El Mercurio en base a Sernageomin

Tabla A.6.1 - Tipos de costos a empresas mineras debido a conflictos con comunidades (continuación)

Capital y Financiamiento	Pérdida de valor de la propiedad: descuentos, otras depreciaciones, ventas a pérdida, robos
	Inabilidad de pagar deudas, caer en cesación de pagos
	Dificultad en levantar nuevo financiamiento
	Inestabilidad en el precio de las acciones y/o pérdida en el valor (en un período de tiempo relevante)
Compensaciones y Remediaciones	Compensaciones (fuera de corte judicial)
	Multas
	Mayores obligaciones sociales y ambientales: salud, educación y capacitación, provisión de otros servicios, limpieza y remediación
	Costos administrativos de procedimientos o juicios: costos del proceso en sí, pagos del acuerdo final
Daño Material	Daño y destrucción a propiedad e infraestructura privada
	Daño y destrucción a propiedad e infraestructura pública
Manejo de Riesgos	Seguros: mayores primas y coberturas, clasificación de riesgo
	Necesidad de expertos legales y en conflictos: personal especializado y adicional
Modificación de Proyectos	Costos de cambio en el diseño: aplicación, rediseño, gastos legales
	Trabajos adicionales
Seguridad	Pago a fuerza policial o guardias privados
	Mayores costos operacionales de seguridad: rejas, patrullas, escoltas, transportes, alarmas, menor movilidad
	Mayor capacitación y esfuerzo en seguridad: tiempo, menor producción, costo de programas
Reputacionales	Mayor gasto en relaciones públicas: consultores, diseminación de la información
	Pérdida de competitividad: impacto en marca y confianza de los inversionistas

Fuente: Adaptado de Davis y Franks (2014)

Anexo Presentación *Benchmark*

Comisión Nacional de **Productividad**

Productividad Gran Minería del Cobre

PRESENTACIÓN PRELIMINAR

Secretaría Ejecutiva

Comisión Nacional de Productividad

Productividad de la Gran Minería de Cobre

- Primer estudio **mandatado** por el Gobierno
- Proyecto colaborativo entre CNP, Consejo Minero, y Cochilco, con apoyo de Fundación Chile y la consultora Matrix
- El mandato solicita:
  - Determinar las brechas de productividad entre las operaciones chilenas, la frontera de productividad nacional, y la de países referentes
  - Generar propuestas concretas de política pública y de gestión sectorial
  - Identificar implicancias relevantes

Comisión Nacional de **Productividad**

Productividad de la Gran Minería de Cobre

- La metodología propuesta por CNP:
  - Compara 12 faenas chilenas de la "Gran Minería del Cobre" (75% producción nacional) con 7 faenas de mejor práctica en Australia, Canadá, Estados Unidos y Perú
  - La muestra (19 faenas)[1] representa alrededor de 30% de la producción mundial de cobre, y 50% de la producción de faenas sobre 100 mil Kton. de cobre fino
  - Considera productividad del uso de equipos y productividad parcial.

Comisión Nacional de **Productividad**

Estudio de Productividad de la Gran Minería de Cobre

Faenas Nacionales (Kton. Cu fino producción 2015)	Faenas Internacionales (Kton. Cu fino producción 2015)
Escondida (1.170)	Antamina (PER, 345)
Collahuasi (470)	Cerro Verde (PER, 277)
El Teniente (455)	Iron Ore (AUS, 233)
Los Bronces (440)	Morenci (USA, 203)
Los Pelambre (400)	Highland Valley (CAN, 133)
Chuquicamata (340)	Prominent Hill (AUS, 126)
Radomiro Tomic (330)	Olympic Dam HQ (AUS, 114)
Andina (232)	Safford (USA, 91)
Centinela (181)	Bagdad (USA, 80)
Spence (176)	Gibraltar (CAN, 73)
Candelaria (135)	
Gabriela Mistral (120)	

Comisión Nacional de **Productividad**

Estudio de Productividad de la Gran Minería de Cobre

- La muestra de las operaciones internacionales se caracteriza por estar asociado a países que presentan **buenas prácticas** en varios ámbitos que resulta pertinente mencionar.

- Por ejemplo, **países con estándares altos en seguridad**, la mayoría con **salarios e ingreso per cápita por sobre los de Chile**, como también con **estándares medio ambientales mucho más exigentes que Chile**.

Comisión Nacional de **Productividad**

Estudio de Productividad de la Gran Minería de Cobre

- A nivel de operación se utilizan dos medidas de productividad
  - (1) Toneladas de material movido por jornada laboral equivalente, la cual está corregida por factores intrínsecos a cada faena
    - Esta medida es una medida parcial de productividad y por tanto refleja la influencia conjunta de los factores productivos y no la productividad del trabajador[1]
  - (2) Eficiencia en el uso de activos
    - medido como tiempo efectivo utilizado

(1) Measuring Productivity", OECD Manual (2001).

Comisión Nacional de **Productividad**

Productividad Operacional[1]

(1) Se opta por la definición "productividad operacional" pues asocia el esfuerzo (medido en horas directas e indirectas) de mover toneladas de material al botadero como a la planta.

Comisión Nacional de **Productividad**

Productividad Operacional

- Se considera material movido, controlando el efecto exógeno de la ley del mineral y la razón entre material mineral y el estéril
  - El indicador:

$$M_H = \frac{Horas}{Ktons}$$

- Refleja la capacidad productiva de la operación medido como horas requeridas para mover material (lastre y mineral)

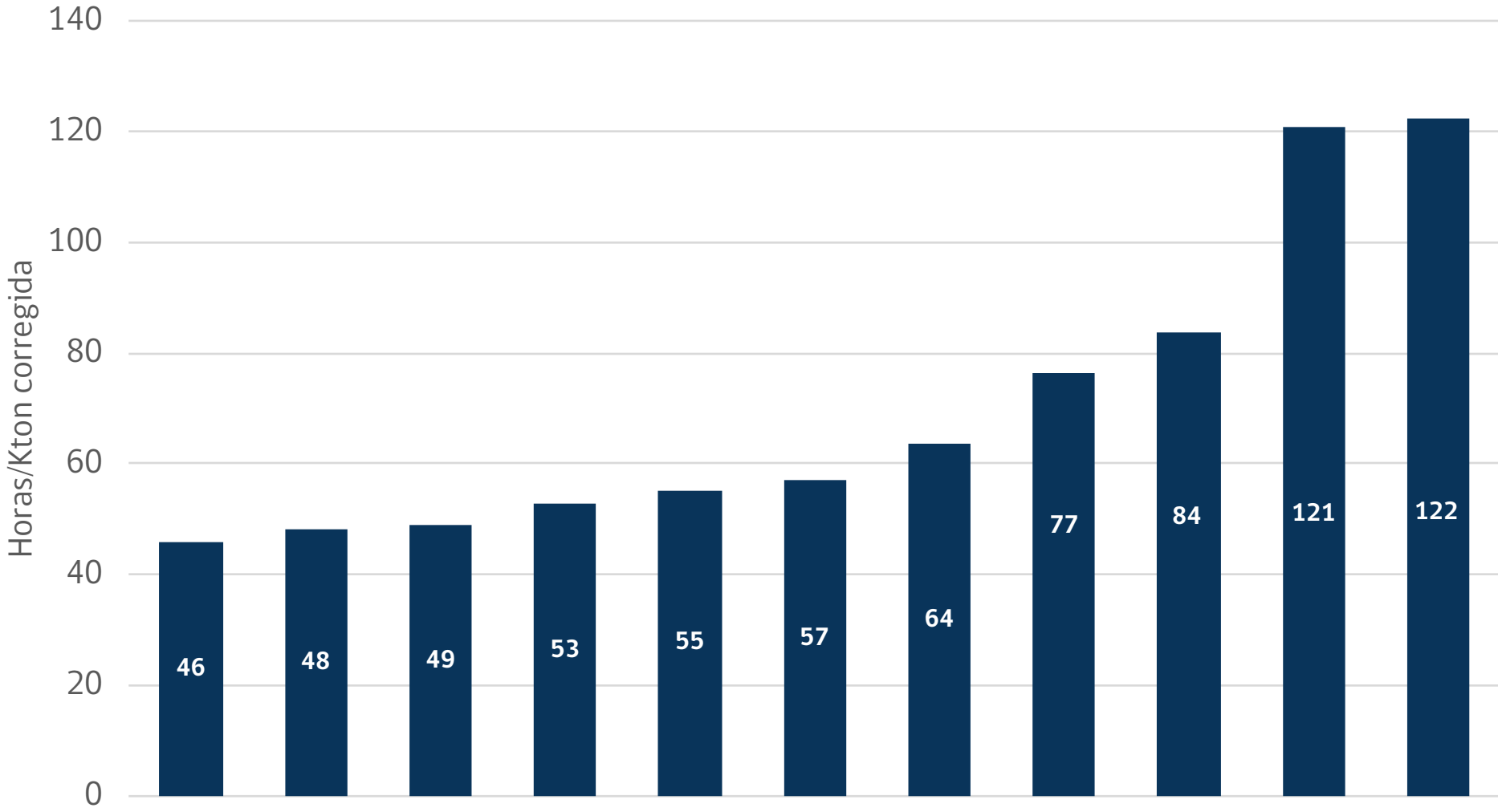
Comisión Nacional de **Productividad**

Productividad Operacional

- Otros factores a corregir para hacer comparable las operaciones bajo la métrica anterior, son:
  - Características del yacimiento: pendiente y distancia a botadero y a planta.
  - Escala de la operación (tolvas).
  - Condiciones climáticas: algunas operaciones operan menos días.

Comisión Nacional de **Productividad**

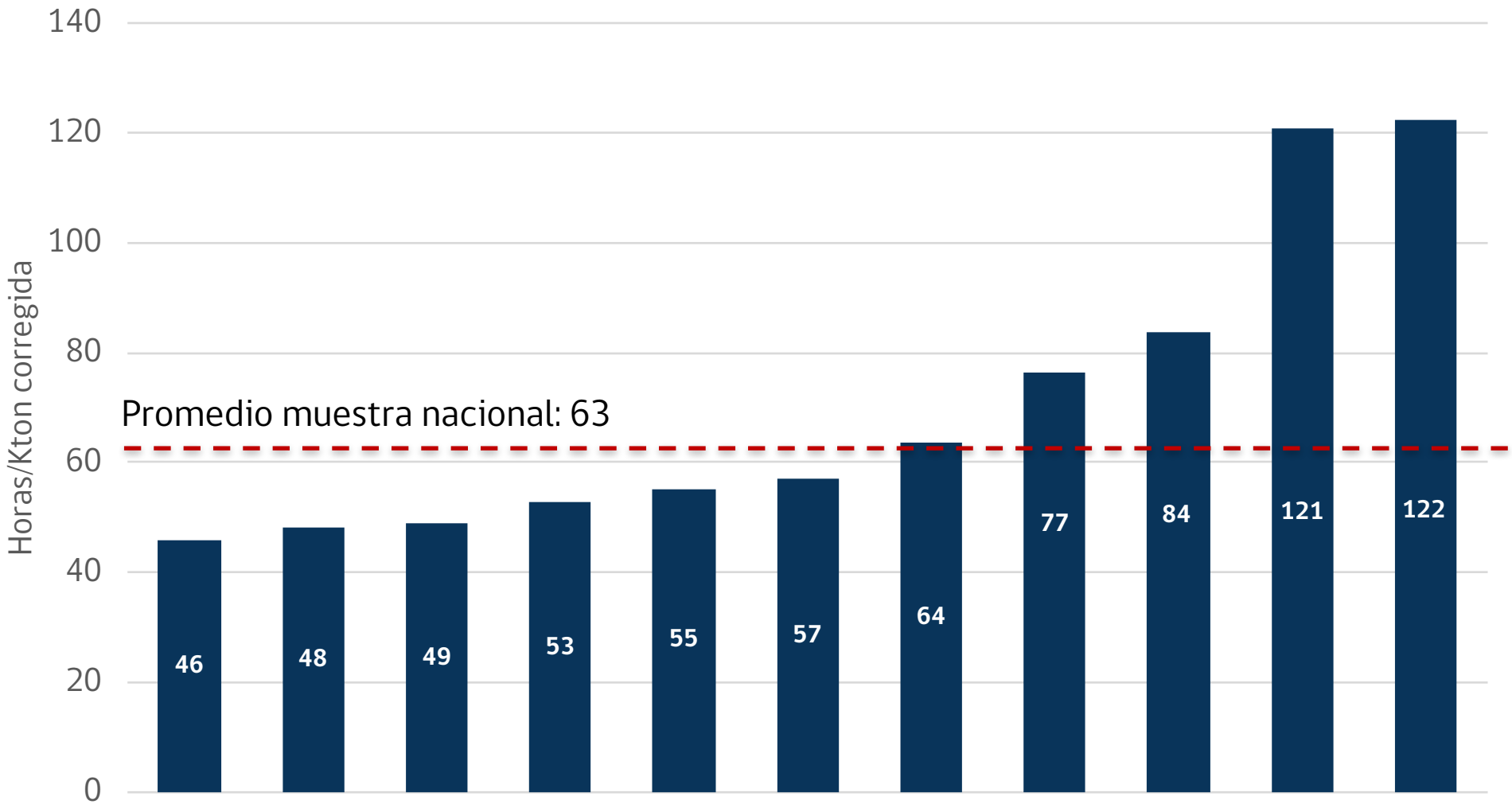
Productividad Operacional



Nota: Material movido considera ajustes por días operativos de mina, distancia media, pendiente promedio y capacidad de transporte. Sólo considera operaciones rajo abierto y mixtas.

Comisión Nacional de **Productividad**

Productividad Operacional



Comisión Nacional de **Productividad**

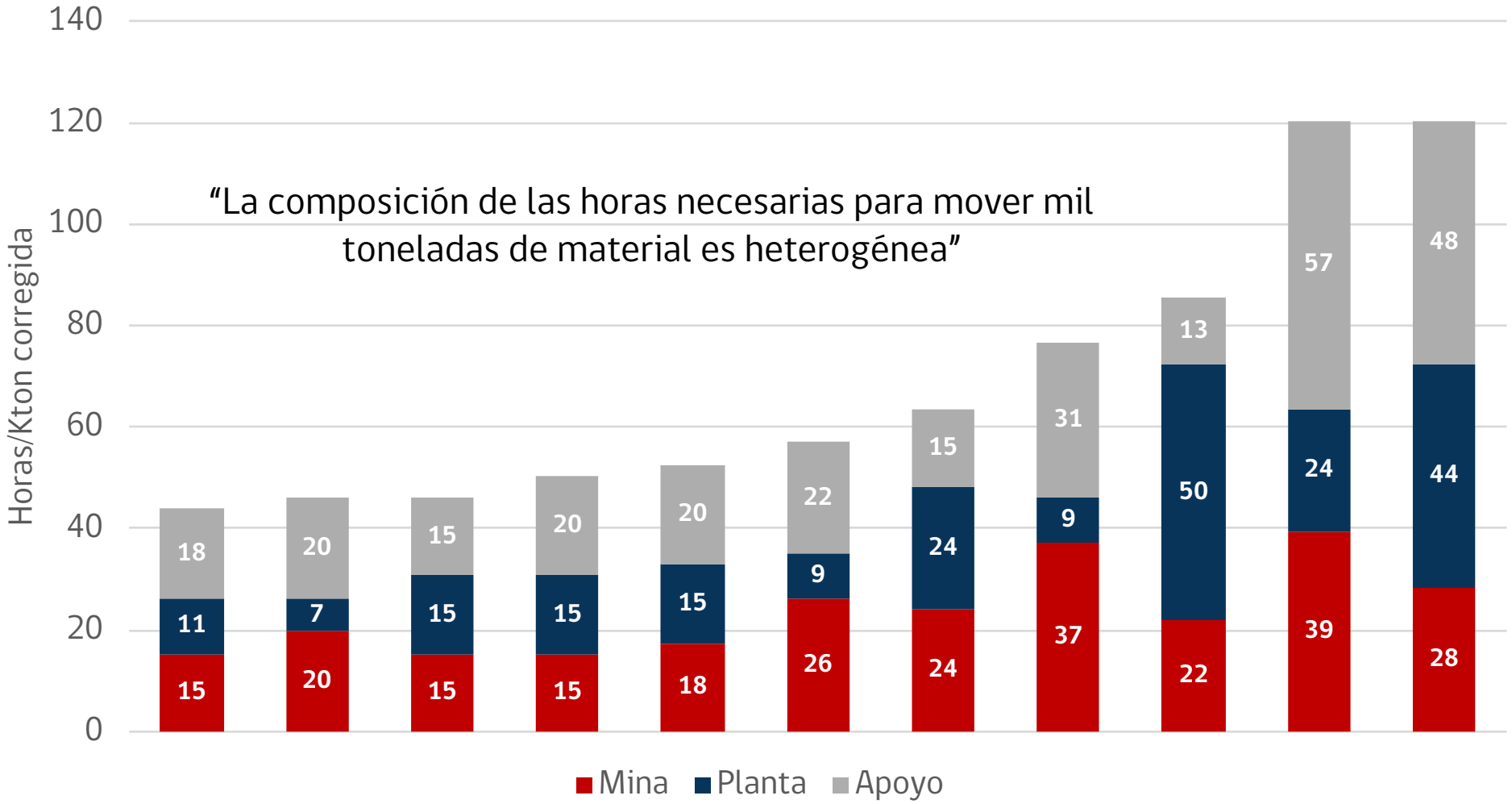
Nota: Material movido considera ajustes por días operativos de mina, distancia media, pendiente promedio y capacidad de transporte. Sólo considera operaciones rajo abierto y mixtas.

Productividad Operacional

Comisión Nacional de **Productividad**

Nota: Material movido considera ajustes por días operativos de mina, distancia media, pendiente promedio y capacidad de transporte. Sólo considera operaciones rajo abierto y mixtas.

Productividad Operacional[1]



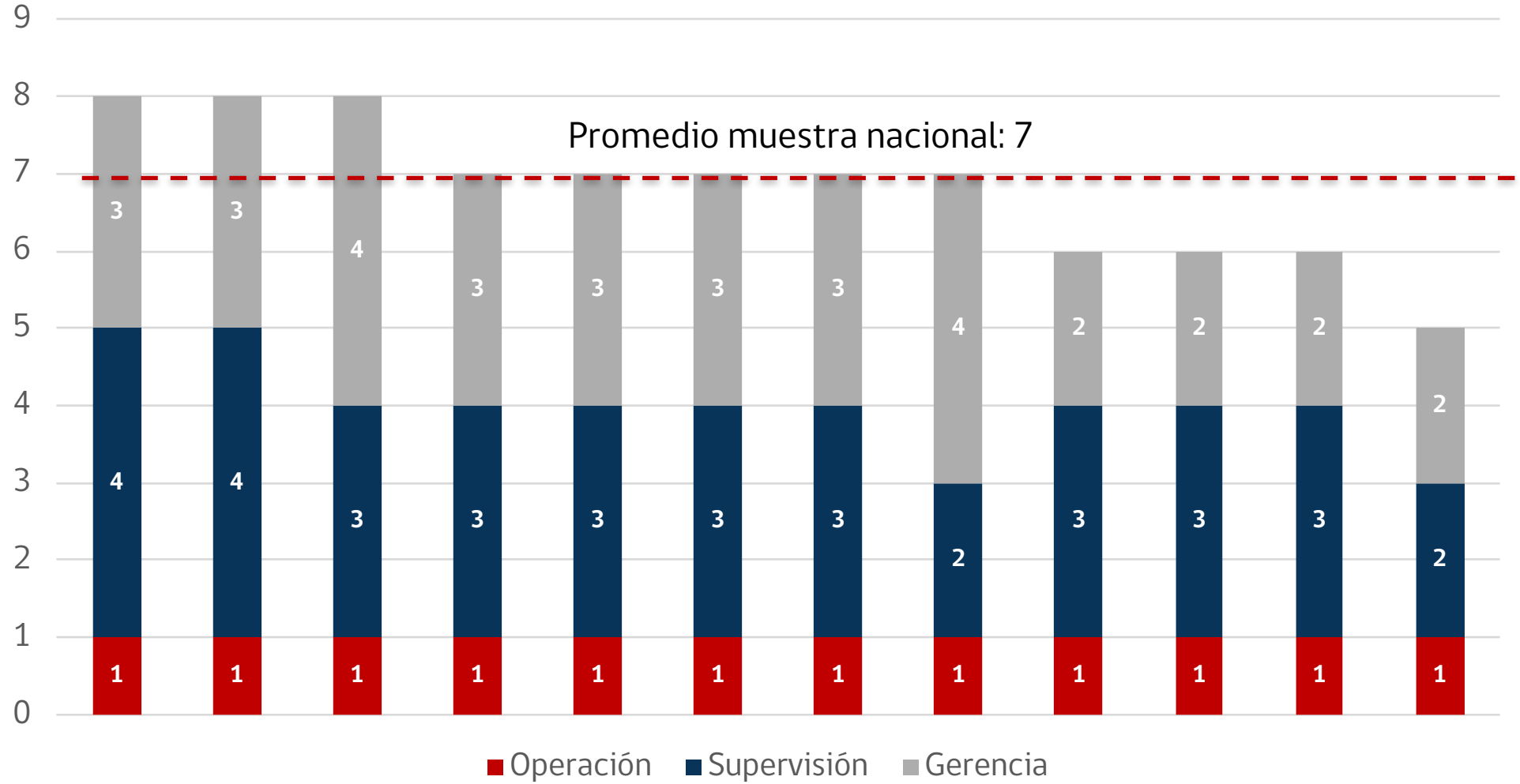
Comisión Nacional de **Productividad**

Nota: Material movido considera ajustes por días operativos de mina, distancia media, pendiente promedio y capacidad de transporte. Sólo considera operaciones rajo abierto y mixtas. (1) Los número no necesariamente suman exacto pues es una aproximación.

Hallazgos

Comisión Nacional de **Productividad**

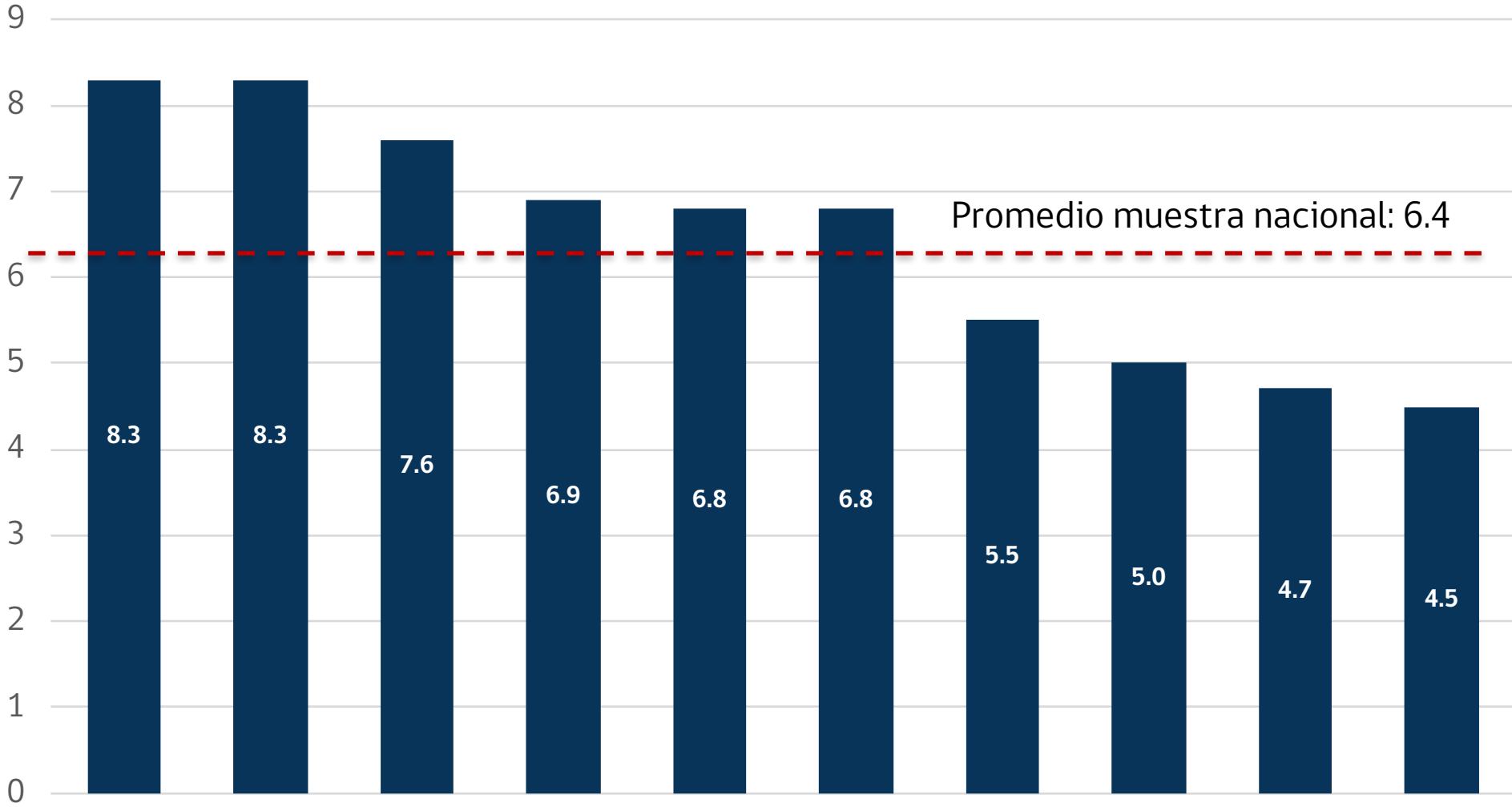
Niveles jerárquicos



Operaciones nacionales tienen entre 5 y 8 ***niveles*** *jerárquicos en su estructura organizacional.*

Comisión Nacional de **Productividad**

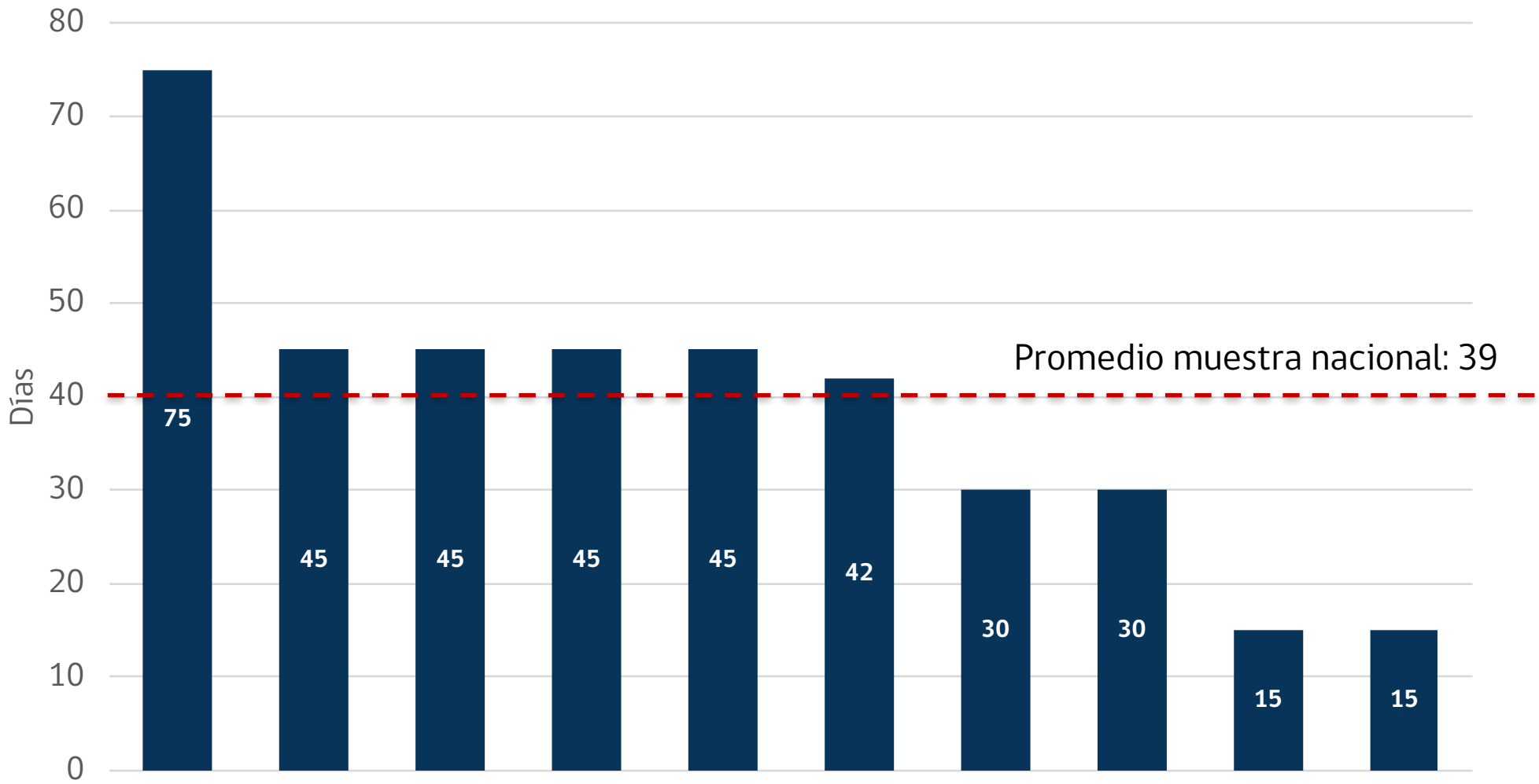
Número de operadores/mantenedores por supervisor en mina



Operaciones nacionales tienen en promedio 6.4 operadores y mantenedores por supervisor en el área mina.

Comisión Nacional de **Productividad**

Días que toma la acreditación a EECC

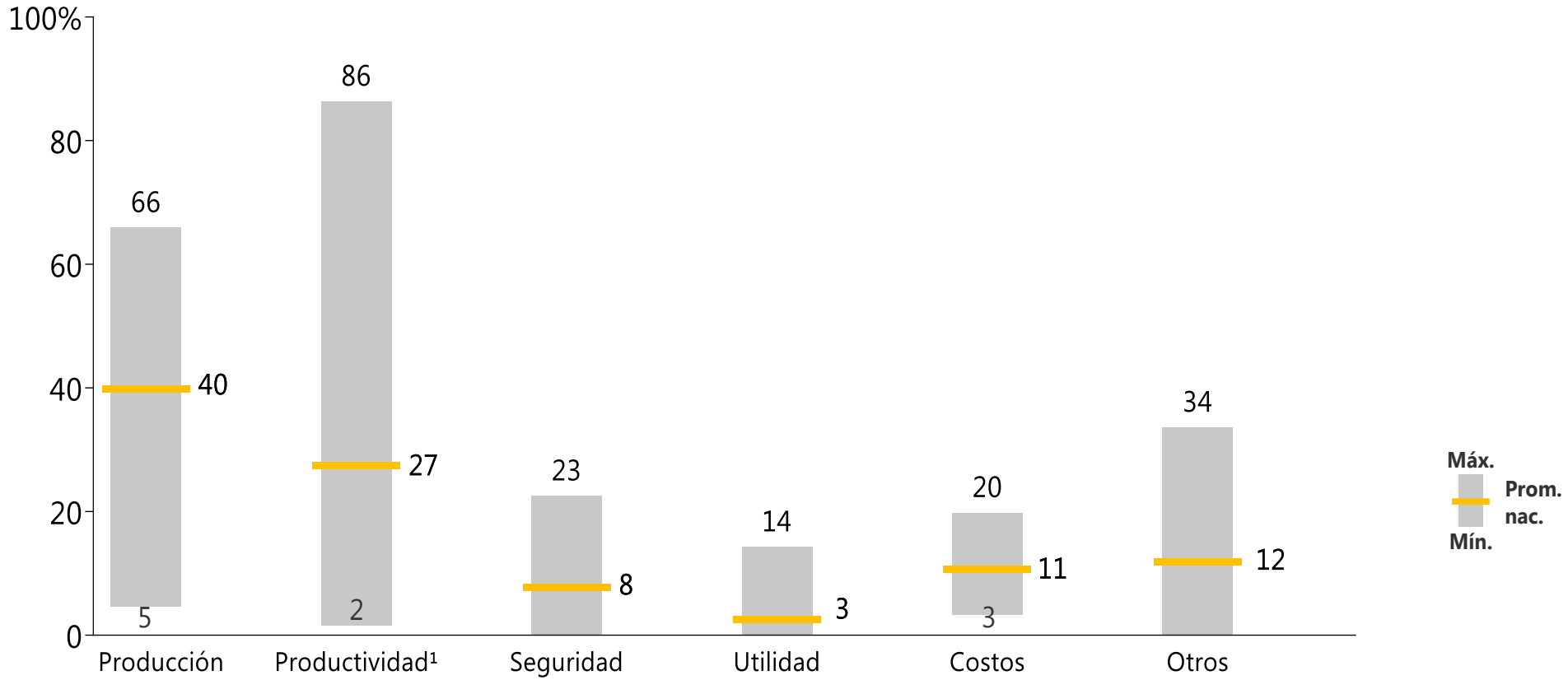


En promedio, la acreditación de empresas contratistas demora 40 días.

Comisión Nacional de **Productividad**

Composición de la remuneración en las operaciones

% variable de la remuneración anual de operadores y mantenedores (%)



La variable productividad muestra alta dispersión dentro de la composición de la remuneración variable.

Comisión Nacional de **Productividad**

Eficiencia en el uso del capital

Comisión Nacional de **Productividad**

Eficiencia en el uso del capital

- El análisis estima la productividad del capital (equipos)
- Para ello se analizaron **7 procesos unitarios**:
  - Mina rajo: **(1.)** Carguío; y **(2.)** Transporte.
  - Planta concentradora: **(3.)** Chancado Primario PC[1]; y **(4.)** Molienda.
  - Planta hidrometalúrgica: **(5.)** Chancado Primario PH; **(6.)** Área seca[2]; y **(7.)** Área húmeda.

(1) En algunas operaciones considera chancado secundario, terciario y cuaternario; (2) Área seca considera desde chancado secundario hasta remoción de ripios.

Comisión Nacional de **Productividad**

Eficiencia en el uso del capital

- El indicador de productividad del capital se asocia a la proporción del tiempo operativo.
- Para ello es necesario entender la distribución de tiempo, partiendo por el **tiempo calendario, el disponible, y el utilizado.**
- El tiempo de uso es la medida final comparable entre faenas.

Comisión Nacional de **Productividad**

Eficiencia en el uso del capital

- **Tiempo calendario:** 365 días.
- **Tiempo posible**: tiempo calendario restando factores exógenos (p.e., espera de tronadura y/o chancado, detenciones por falta de agua, espera de mina y/o flotación, equipo solicitado por proyectos, condiciones climáticas, corte de energía, huelga, etc.).
- **Tiempo disponible**: tiempo posible menos tiempo no disponible por fallas.
- **Tiempo utilizado**: tiempo disponible, menos detenciones programadas y no programadas (p.e., cambio de turno, colación, esperas, reparación de caminos, falta de material, limpieza, etc.).

Comisión Nacional de **Productividad**

Eficiencia en el uso del capital

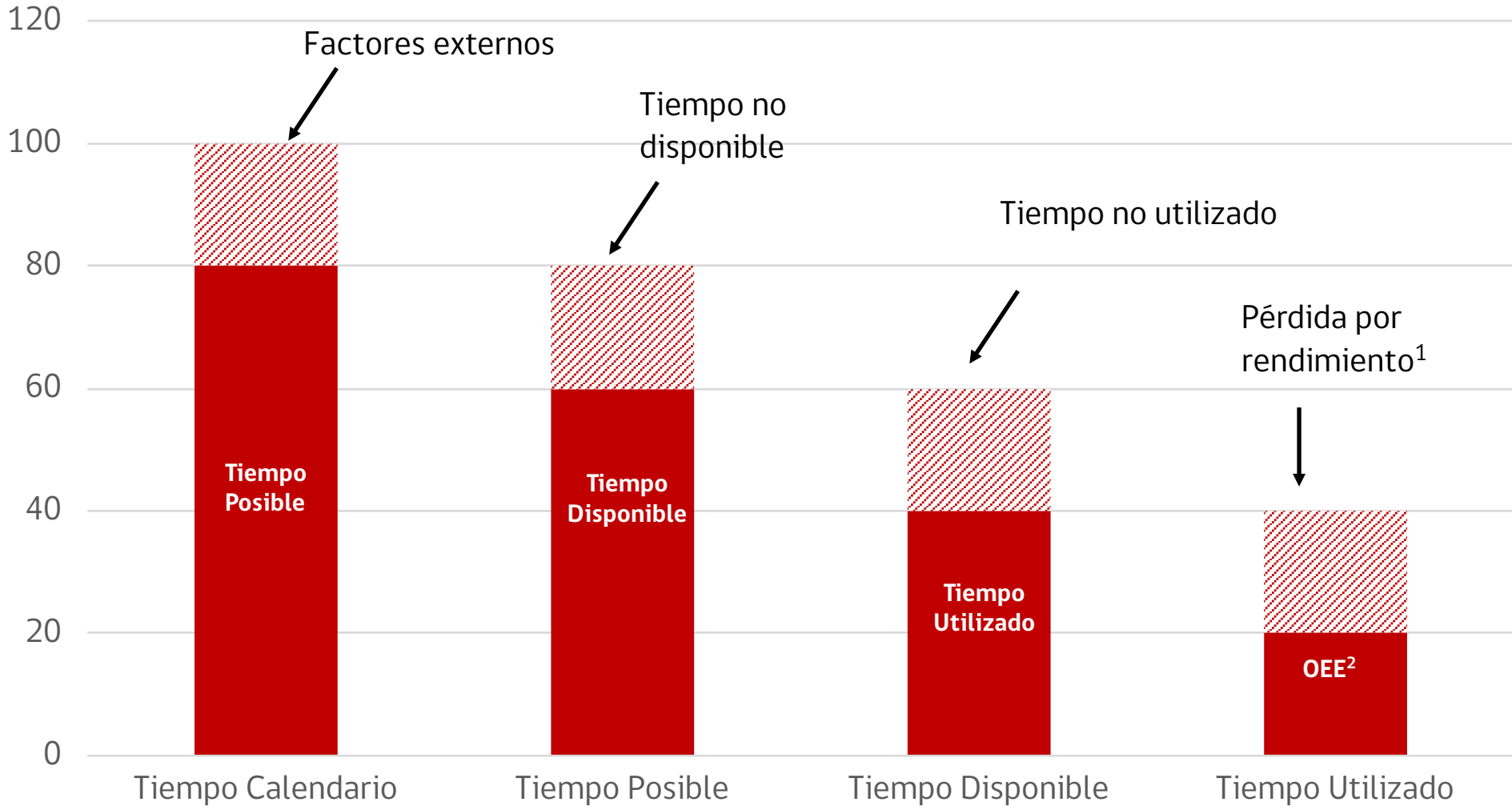
- **Disponibilidad:** $\frac{Tiempo\ disponible}{Tiempo\ posible}$

- **Utilización efectiva:** $\frac{Tiempo\ utilizado}{Tiempo\ disponible}$

- **Eficiencia de activos:** $\frac{Tiempo\ utilizado}{Tiempo\ posible}$

Comisión Nacional de **Productividad**

Eficiencia en el uso del capital



Comisión Nacional de **Productividad**

(1) Pérdida por rendimiento calculada sobre el rendimiento teórico es llevada a una medida de tiempo equivalente; (2) Overall Equipment Effectiveness

Eficiencia en el uso del capital

	Disponibilidad[1] (horas de un día[2])		Eficiencia de activos[1] (horas de un día[2])	
	Chile	Internacional	Chile	Internacional
Carguío	18.7 (14%)	21.7	13.7 (17%)	16.5
Transporte	19.5 (8%)	21.2	15.5 (9%)	16.9
Chancado PC	21.5 (1%)	21.8	16.1(10%)	17.7
Molienda	21.9 (4%)	23.2	19.4 (15%)	22.7

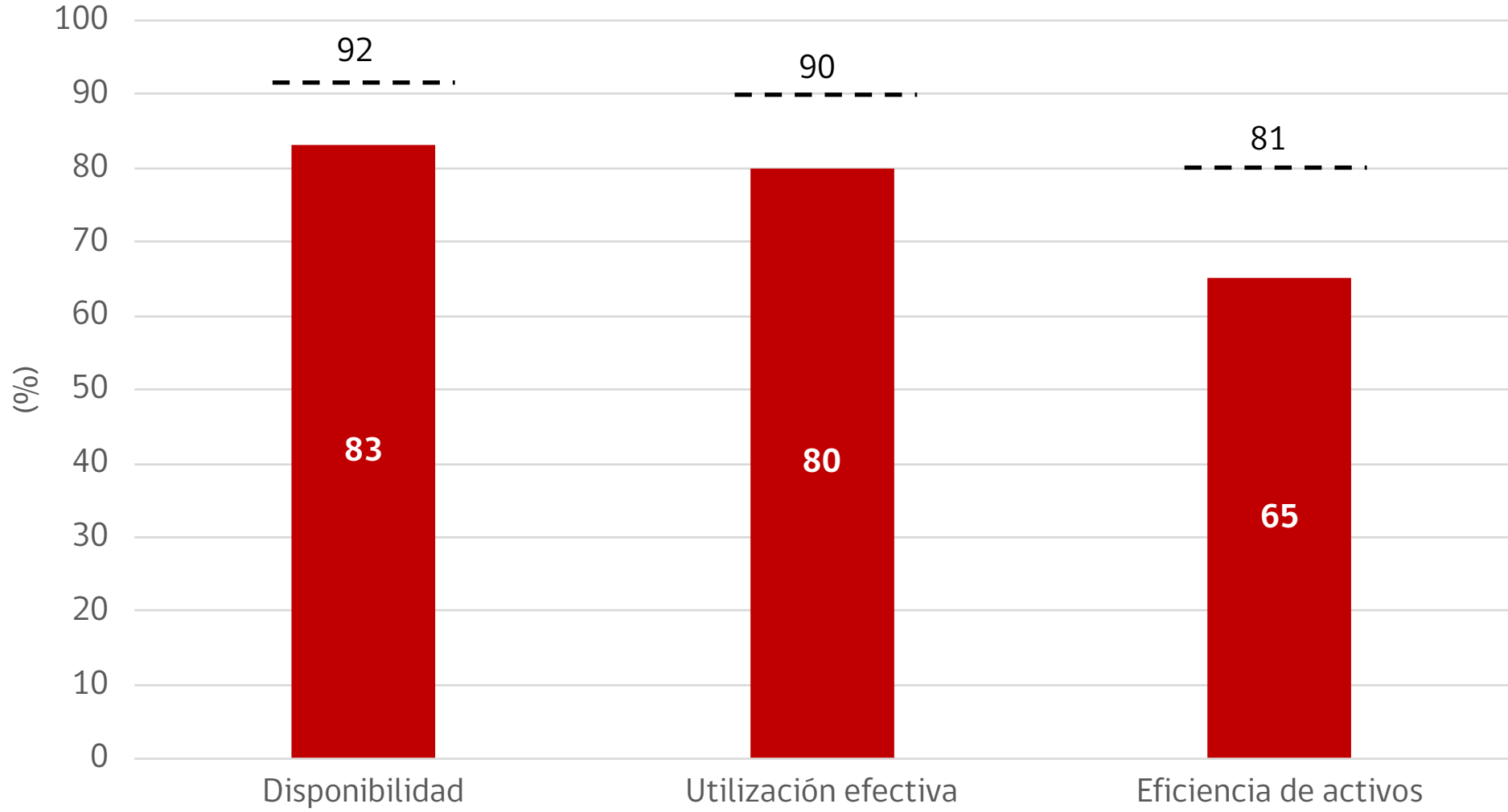
(1) Aún se están analizando los datos para el caso de los otros tres procesos unitarios asociados a la planta hidrometalúrgica: (i.) Chancado; (ii.) Área seca; y (iii.) Área húmeda. La base es tiempo calendario para poder comparar internacionalmente. (2) Si bien la medida está en tiempo calendario, por simplicidad se normaliza y aproxima a un día de 24 hrs.

Comisión Nacional de **Productividad**

Ejemplo: Eficiencia en el uso del Transporte

Comisión Nacional de **Productividad**

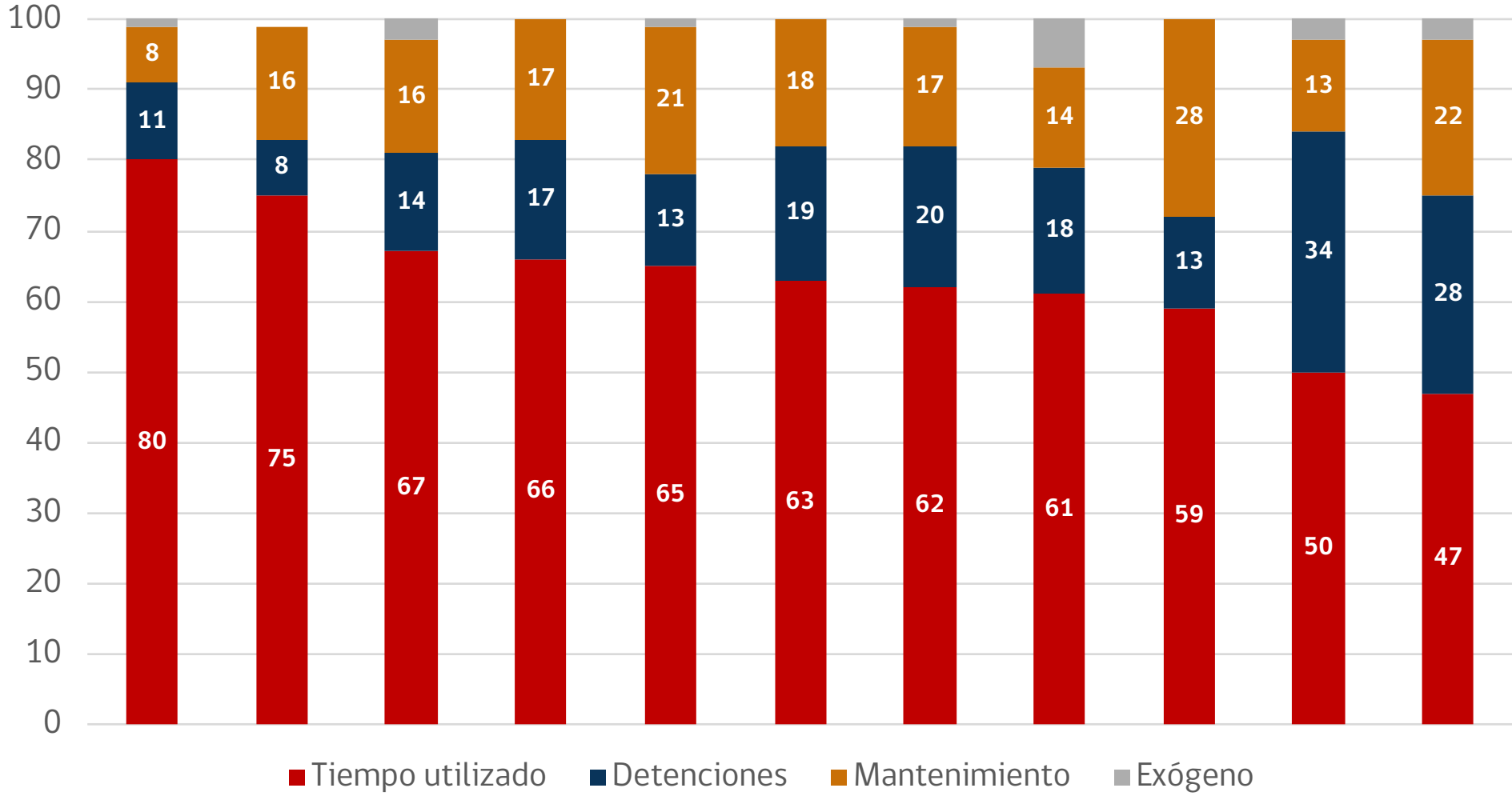
Eficiencia en el uso en Transporte



Nota: Los valores en las barras representan el promedio simple de las operaciones y se comparan con el máximo de las operaciones nacionales.

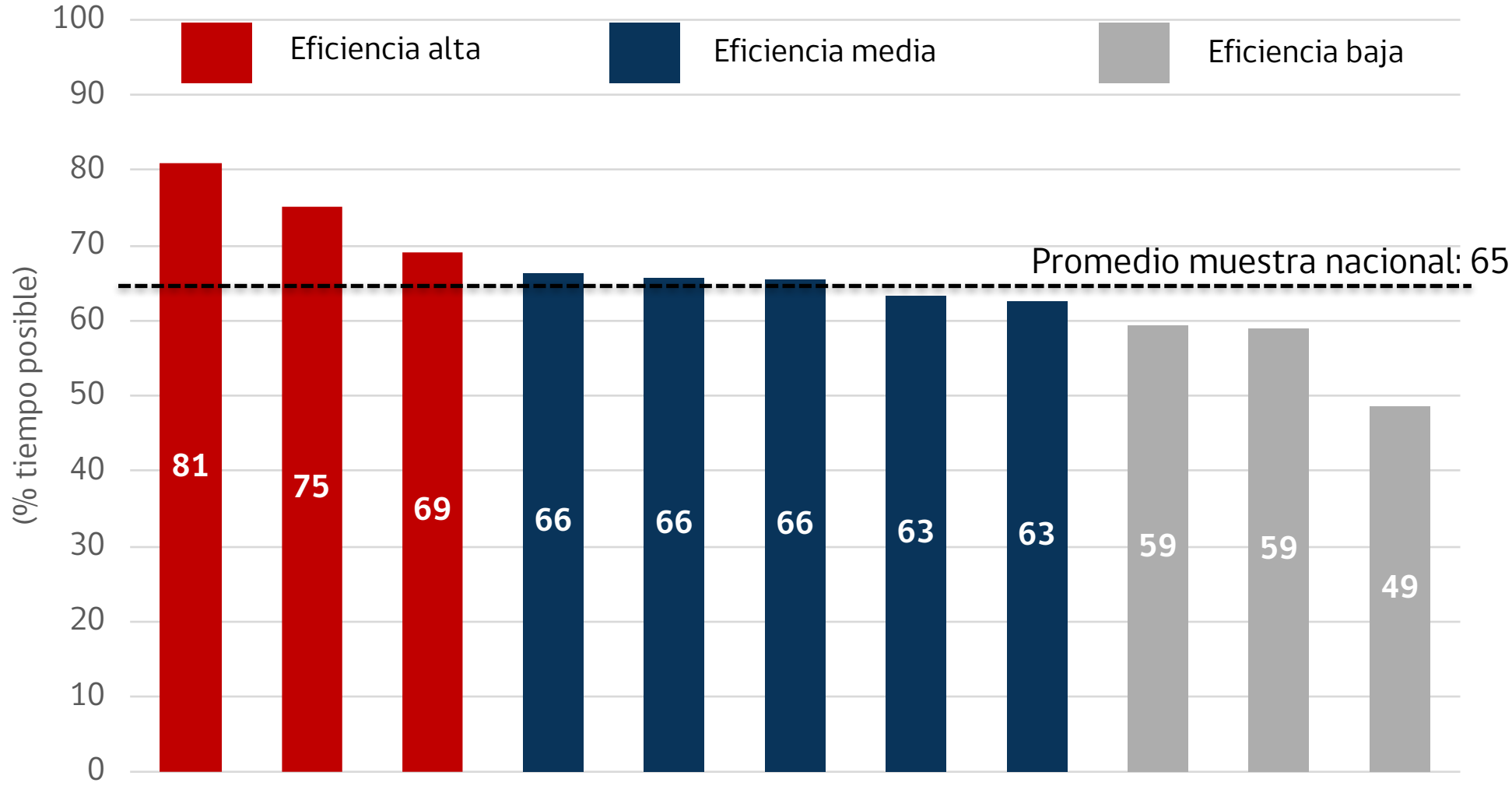
Comisión Nacional de **Productividad**

Distribución del tiempo calendario en Transporte



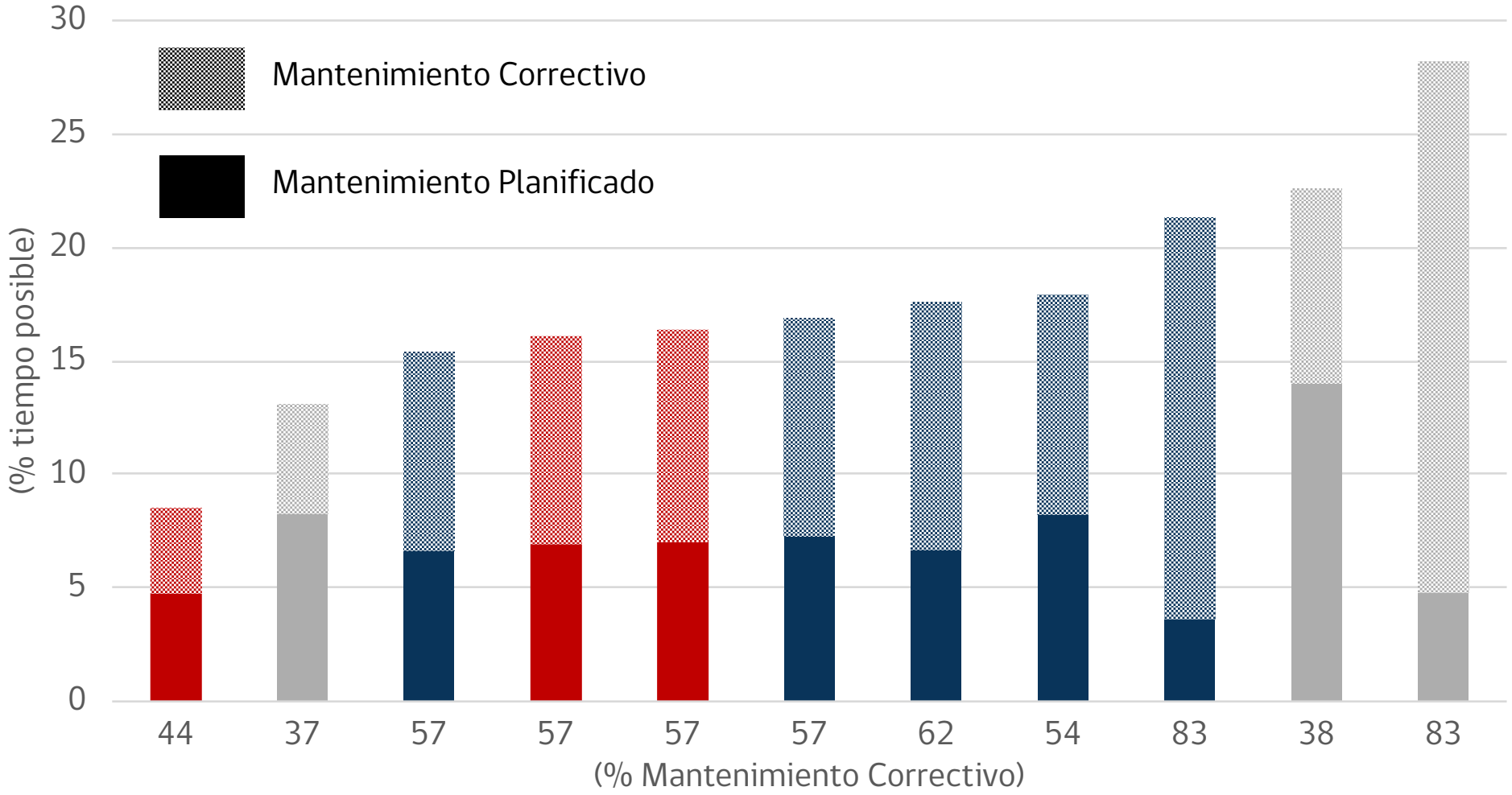
Comisión Nacional de **Productividad**

Apertura de la eficiencia en el uso en Transporte



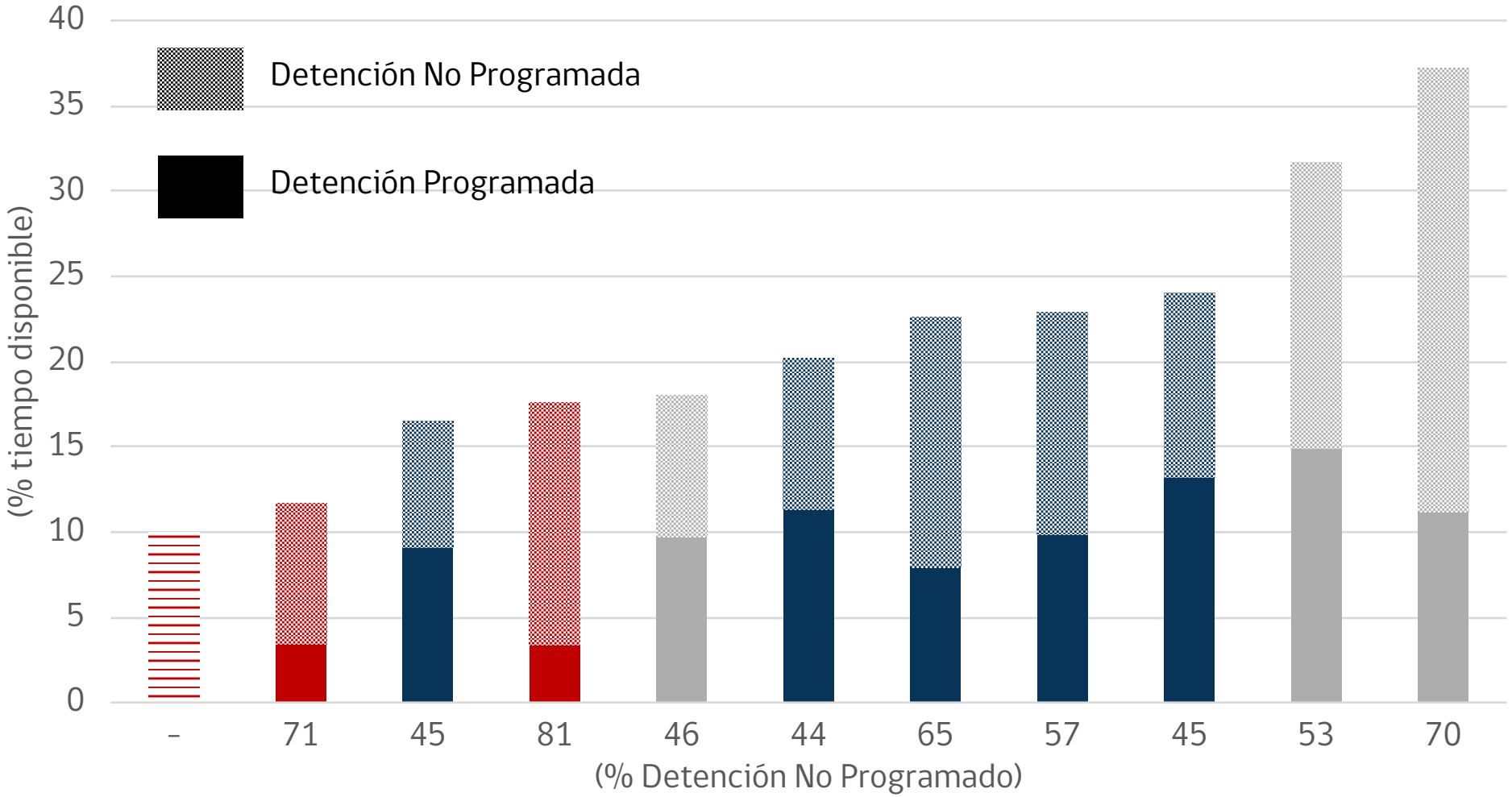
Comisión Nacional de **Productividad**

Mantenimiento en Transporte



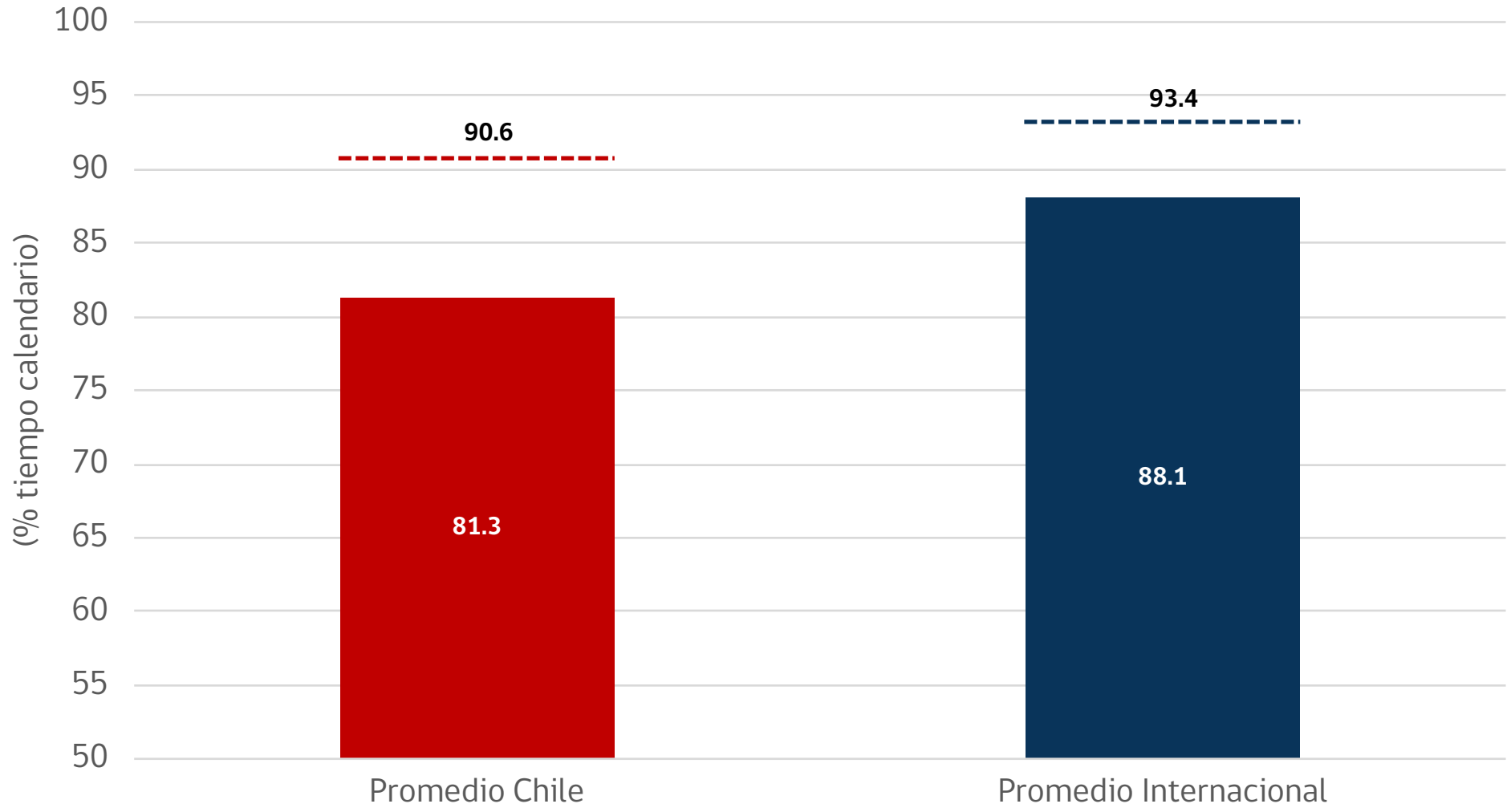
Comisión Nacional de **Productividad**

Detenciones en Transporte



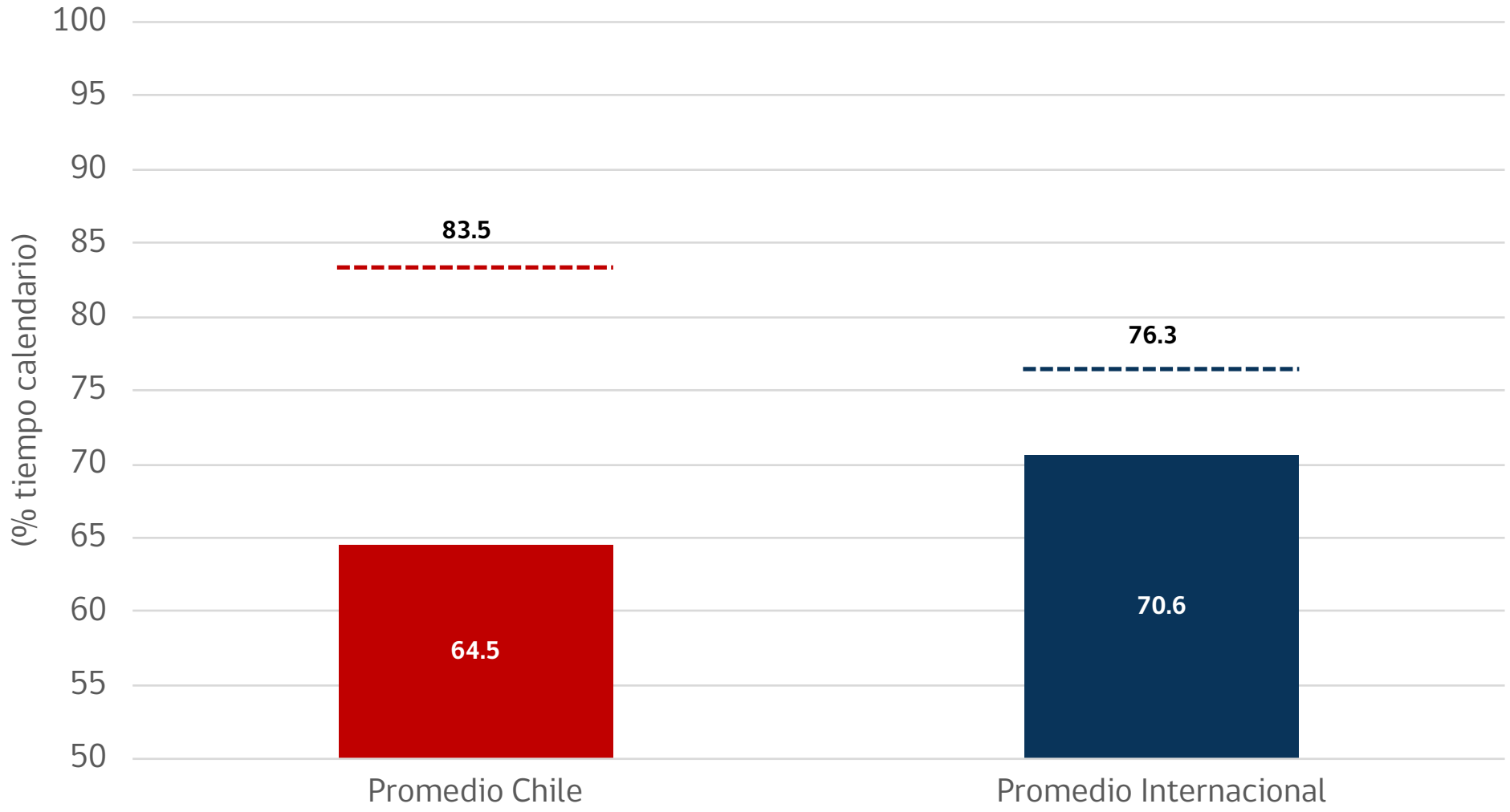
Comisión Nacional de **Productividad**

Benchmark Internacional en disponibilidad de Transporte



Comisión Nacional de **Productividad**

Benchmark Internacional en eficiencia de Transporte



Comisión Nacional de **Productividad**

Potencial de Productividad

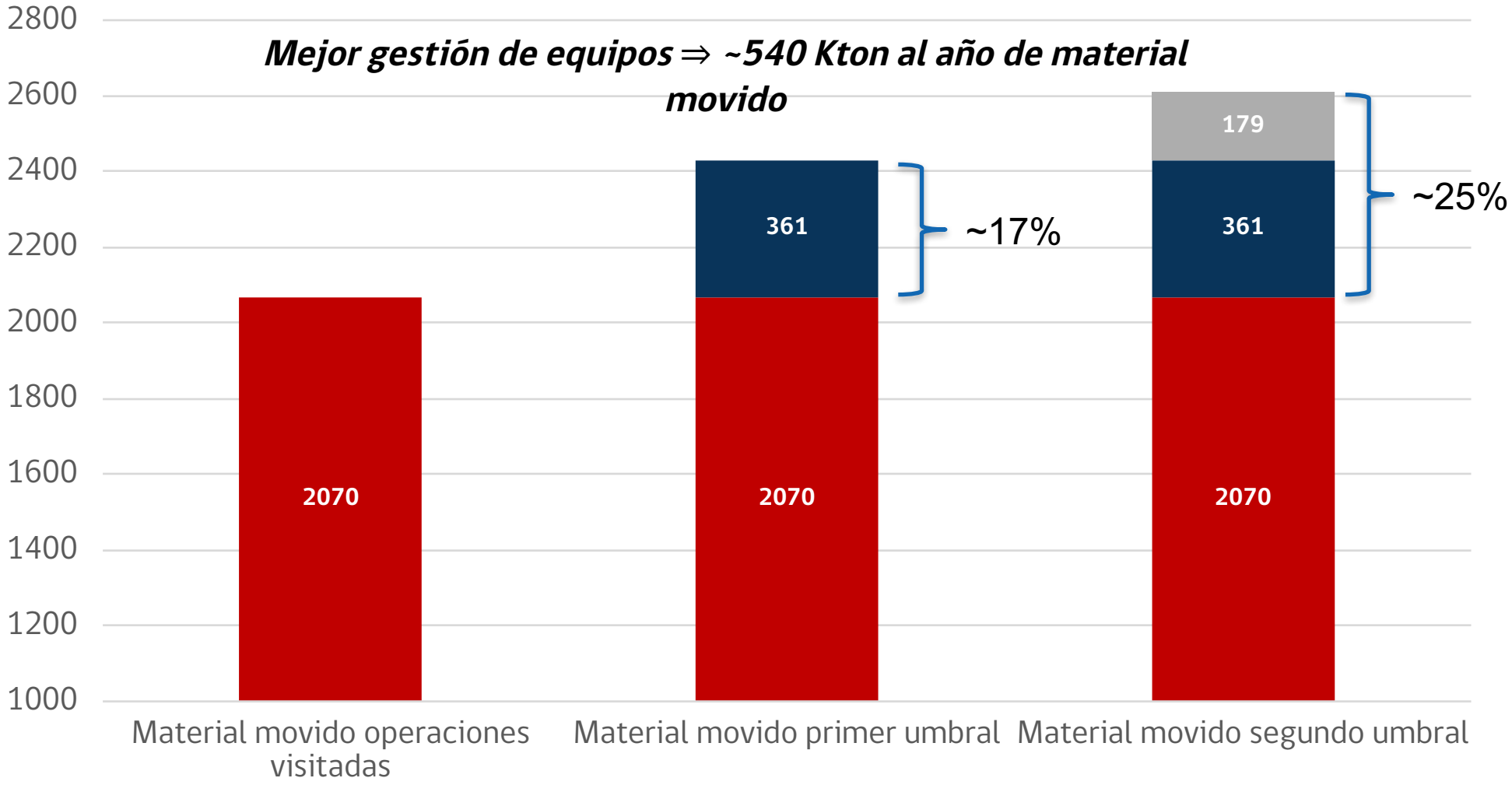
Comisión Nacional de **Productividad**

Potencial de Productividad

- El potencial de productividad en la minería chilena se puede estimar en torno a tres umbrales.
- Un primer umbral consiste en cerrar las brechas respecto al promedio de Chile (Corto Plazo – promedio de Chile).
- Un segundo umbral consiste en cerrar las brechas respecto al mejor desempeño nacional (Mediano Plazo – mejor de Chile).
- Un tercer umbral consiste en cerrar las brechas respecto al desempeño internacional (Largo Plazo – promedio muestra internacional)

Comisión Nacional de **Productividad**

Potencial de Productividad



Comisión Nacional de **Productividad**

Otros temas que están siendo analizados por CNP

Comisión Nacional de **Productividad**

Proveedores

- Caracterización del sector
- Existen importantes diferencias entre los períodos de acreditación entre operaciones nacionales (15 días la más eficiente, 60 días la menos)
- Espacio de mejora en el gasto en I+D a nivel de actores del sector minero en Chile (gobierno, empresas)
- Proveedores fundamentales en Innovación:
  - Evolución del Programa de Proveedores de Clase Mundial
  - Espacios de Prueba

Comisión Nacional de **Productividad**

Recursos Hídricos y Energéticos – Hallazgos

- Existen espacios para mejoras en el abastecimiento eléctrico debido al uso especulativo de concesiones mineras de terceros.
- No existe una hoja de ruta sobre permisos y trámites para la instalación de plantas desalinizadoras.
- Existe un vacío regulatorio respecto de la expulsión de salmuera en las plantas desalinizadora.
- A diferencia de otros países mineros, existen importantes costos de inversión y operación en habilitar el uso de agua de mar.

Comisión Nacional de **Productividad**

Comunidades – Hallazgos

- La información temprana, continua, certera y confiable entre las partes es fundamental para la creación de confianza entre comunidades y empresa minera.
- El Estado y los gobiernos locales son actores fundamentales en la relación empresa-comunidad. La transparencia y credibilidad de estos, además de su capacidad de gestión, resultan determinantes para viabilizar soluciones de largo plazo y mutuo beneficio.

Comisión Nacional de **Productividad**

Comunidades – Hallazgos

- El Estado no es el único que puede acudir de garante a un proceso de relacionamiento empresa-comunidad, otras instituciones puede reemplazarlo en ese rol.
- La claridad regulatoria, en aspectos como los derechos de agua, tierras, etc., es fundamental para establecer un marco base sobre el que los actores puedan conversar.

Comisión Nacional de **Productividad**

Otros capítulos

- Exploración
- Infraestructura
- Mediana minería

Comisión Nacional de **Productividad**

Gracias

Comisión Nacional de **Productividad**