



Indicadores de productividad de la minería del cobre en Chile al 2021

DE 16/2022

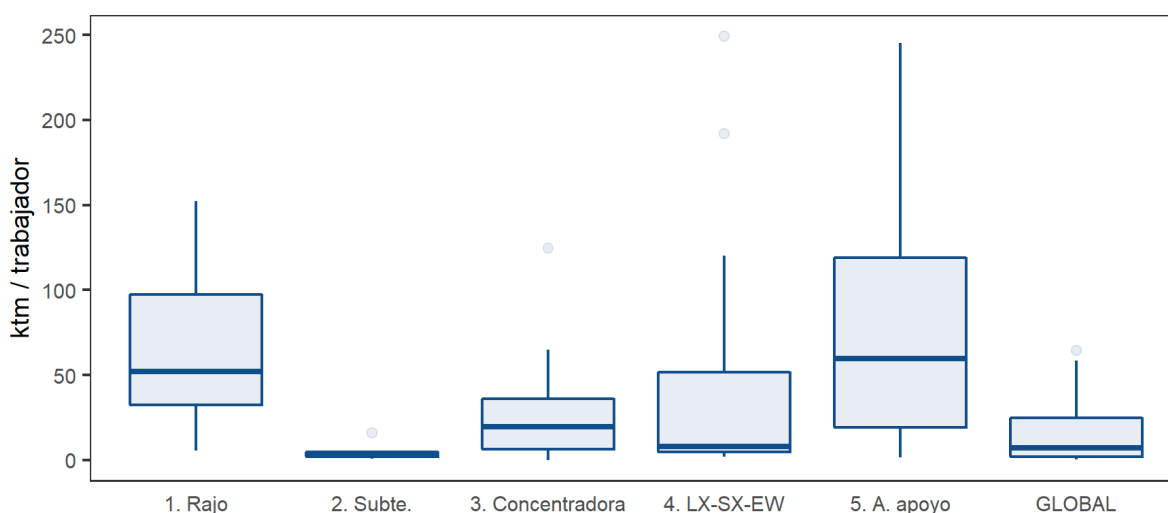
Resumen ejecutivo

COCHILCO ha desarrollado una línea de trabajo para el monitoreo periódico de indicadores de productividad en la industria minera nacional desde el año 2018, siguiendo las recomendaciones de la Comisión Nacional de Productividad (2017). Específicamente, este reporte está enfocado en el levantamiento de indicadores de productividad parcial del trabajo y productividad parcial del capital, y en la medición de la Productividad Total de Factores (PTF) en la industria.

A través del sondeo anual que COCHILCO lleva a cabo mediante su Encuesta Minera de Producción, Agua y Energía – EMPAE, se solicitan los antecedentes necesarios para calcular los indicadores de productividad mencionados. En conjunto, las empresas consultadas en la EMPAE 2022 consideradas en la muestra constituyen el 99,9 % de la producción nacional de cobre en el año 2021.

En la Figura 1 se presenta un resumen de los resultados de indicadores de productividad parcial del trabajo, medidos como la razón entre el material movido/procesado/apilado, según el área analizada, y la dotación permanente de trabajadores (que incluye trabajadores propios y externos), en el año 2021.

Figura 1: Resumen de indicadores de productividad laboral, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

De los resultados, se puede destacar que:

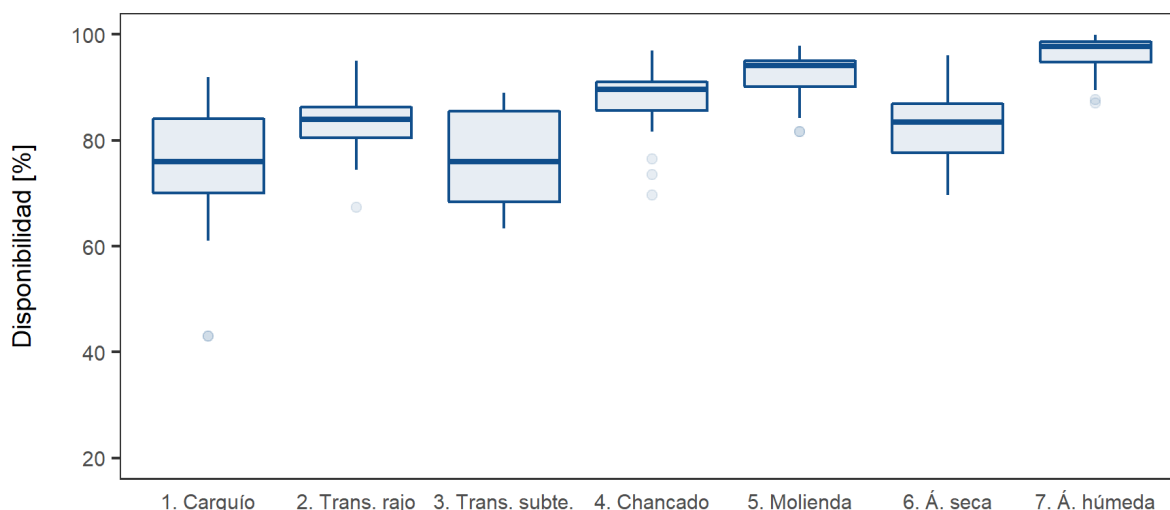
- Existe una dispersión significativa de la productividad laboral en cada área analizada, a excepción de subterránea. Esta dispersión se da principalmente en áreas de apoyo y rajo, mostrando amplias brechas entre los valores máximos y mínimos.
- En términos generales, las faenas de la mediana minería tienen productividades laborales menores en comparación con los indicadores de la gran minería.
- En el global, la productividad laboral promedio tendió a tener una baja respecto del año 2020, mostrando caídas principalmente en mina rajo y áreas de apoyo.
- Este año 2021 viene luego de un año de desmovilización producto de la pandemia, donde las operaciones mineras fueron capaces de mantener niveles similares de producción pero con una menor dotación. Así, los indicadores de productividad laboral de mina y áreas de apoyo mostraron el año 2020 fuertes alzas. Este año, como era de esperarse, el indicador volvió a niveles pre-pandemia en estas áreas, pero en algunas disminuyó aún más. Una posible explicación es el cambio de muestra, donde debido a que faenas no dieron la información o no dieron información de forma correcta, se tiene una muestra con una menor cantidad de faenas de la gran minería, que a su vez, son quienes cuentan con mayores indicadores de productividad laboral.

La Figura 2 y Figura 3 presentan un resumen de los indicadores de disponibilidad y utilización levantados. De los resultados obtenidos se puede indicar lo siguiente:

- Los procesos unitarios que presentan los mayores indicadores de disponibilidad y utilización promedio son molienda en planta concentradora y área húmeda en planta hidrometalúrgica. Esto va en línea con la naturaleza continua de estos procesos.
- Carguío en mina rajo y carguío y transporte en mina subterránea presentan los menores niveles promedio de disponibilidad.
- En utilización, son los mismos procesos, principalmente carguío y transporte en mina subterránea, el que muestra el peor desempeño. El funcionamiento discontinuo de estos procesos, además de las interferencias con equipos auxiliares en el caso del proceso de carguío, explicarían parte de las detenciones y mayores requerimientos de mantenimiento que tienen un impacto negativo en el uso eficiente de estos activos.
- En general, los indicadores de utilización presentan una mayor dispersión y valores promedio más bajos que los de disponibilidad, para cada proceso analizado.
- No se observan tendencias claras relacionadas con la escala de las operaciones (gran minería vs. mediana minería).

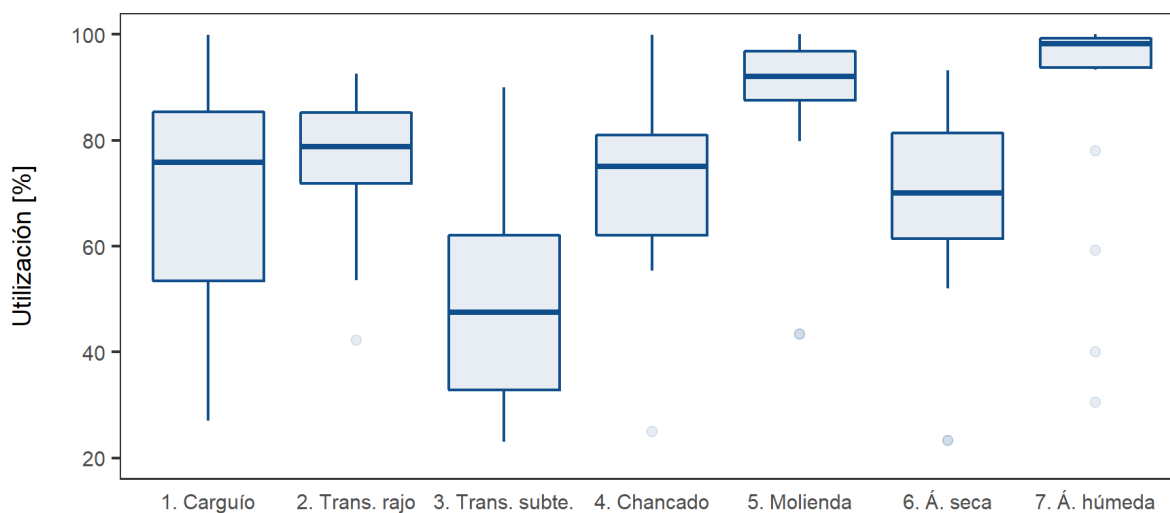
- Se observa que se han mantenido resultados similares que lo encontrado el año 2020. El proceso donde se ve un mayor cambio fue área húmeda, donde hay un alza tanto en los indicadores de disponibilidad como de utilización.

Figura 2: Resumen de indicadores de disponibilidad, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

Figura 3: Resumen de indicadores de utilización, año 2021.

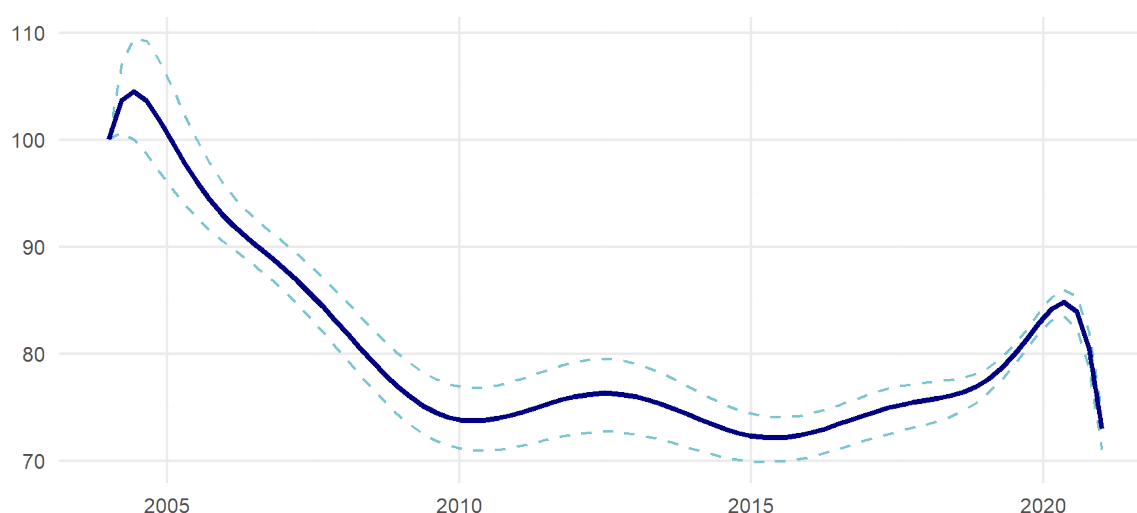


Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

Por último, respecto a los resultados del cálculo de la Productividad Total de Factores de la industria minera del cobre, resultan relevantes dos puntos:

- Durante el periodo analizado se observa una caída cercana a los 27 puntos porcentuales en la productividad de la industria.
- Se observan fuertes fluctuaciones los dos últimos años, con una fuerte alza el año 2020 producto en parte de la desmovilización que existió en la pandemia y a que la industria fue capaz, pese a esto, de mantener la producción. Pero el año 2021 se observa una gran caída llegando a los niveles más bajos del indicador.

Figura 4: Evolución de la PTF en la muestra seleccionada, periodo 2004-2020.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

Nuevamente es importante que las compañías mineras de cobre puedan seguir colaborando en esta línea de trabajo, asimilada por nuestra Institución desde los resultados del informe de la Comisión Nacional de Productividad en 2017, ya que permite entender de mejor forma las variables que afectan la productividad de la industria e implementar las Políticas Públicas adecuadas para subsanar dichas brechas.

Contenidos

1. Introducción	1
2. Productividad parcial del trabajo	3
2.1. Metodología	3
2.2. Muestra	4
2.3. Resultados	4
2.3.1. Mina rajo	4
2.3.2. Mina subterránea	5
2.3.3. Planta concentradora	6
2.3.4. Planta hidrometalúrgica	7
2.3.5. Áreas de apoyo	8
2.3.6. Global	9
2.3.7. Resumen de resultados	10
3. Productividad parcial del capital	11
3.1. Metodología	11
3.2. Muestra	13
3.3. Resultados	13
3.3.1. Mina rajo - Carguío	13
3.3.2. Mina rajo - Transporte	14
3.3.3. Mina subterránea – Carguío y transporte	15
3.3.4. Mina - Chancado	16
3.3.5. Planta concentradora – Molienda	17
3.3.6. Planta hidrometalúrgica – Área seca	18
3.3.7. Planta hidrometalúrgica – Área húmeda	19
3.3.8. Resumen de resultados	20
4. Productividad total de factores	23
4.1. Metodología	24
4.2. Muestra	25
4.3. Resultados	27
5. Comentarios finales	30
6. Anexos	32
7. Referencias	34

1. Introducción

Históricamente la minería del cobre se ha mantenido como un actor fundamental en la economía y desarrollo del país, tanto por su contribución al Producto Interno Bruto (PIB), como por su aporte a los ingresos fiscales, exportaciones, empleo e inversión. Sin embargo, la continuidad de este aporte depende en gran medida de la rentabilidad operacional de las empresas del sector, principalmente de la diferencia entre el precio del cobre y sus costos de producción. Por esta razón es que resulta crucial tanto para las compañías mineras, como para el país, controlar e idealmente tomar medidas para mejorar la productividad de la industria, y en consecuencia, sus costos.

Distintos estudios han estimado que la productividad de la industria ha disminuido de manera considerable en las últimas décadas, incluso corrigiendo por factores naturales, como las leyes. A través del cálculo de la Productividad Total de Factores (PTF) y corrigiendo por factores geológicos (ley de cobre y razón estéril mineral), COCHILCO (2014) estimó una caída promedio de 1,6 % anual en la productividad de la industria durante el periodo 2000 – 2013 (2,8 % anual en el periodo 2004 – 2013). Siguiendo una metodología similar, en Comisión Nacional de Productividad (2017) se estimó una disminución de 1 % anual de la PTF, en el periodo 2000 – 2014.

Dada la importancia de estudiar esta situación, el objetivo de este informe es dar continuidad al levantamiento de indicadores analizados por la Comisión Nacional de Productividad en su estudio “Productividad en la Gran Minería Chilena”, del año 2017 y lo realizado por COCHILCO desde el año 2018 en versiones anteriores de este informe. Adicionalmente, se busca actualizar el cálculo de la Productividad Total de Factores, como una estimación que ayude a complementar las conclusiones respecto al comportamiento de la Productividad en la industria. Se espera que el monitoreo periódico de los principales indicadores de productividad de las empresas mineras nacionales permita contar con la información necesaria para proponer iniciativas, tanto desde el ámbito público como privado, orientadas a promover la competitividad de la industria.

El documento está estructurado de la siguiente forma: en la segunda sección se presenta el análisis de la productividad parcial del trabajo, indicando la metodología utilizada para la medición de este indicador, la muestra examinada y los resultados obtenidos. De manera similar, en la tercera parte se presenta el análisis de la productividad parcial del capital, indicando también metodología, muestra y resultados. La cuarta sección tiene la medición de la Productividad Total de Factores, explicando primero la metodología,

muestra y posterior cálculo. Por último, la quinta sección contiene comentarios finales.

2. Productividad parcial del trabajo

2.1. Metodología

La productividad parcial del trabajo es una medida relacionada a la capacidad productiva de las operaciones con la fuerza laboral requerida. En este informe, se utilizó como medida de producción las toneladas anuales de material movido/procesado/apilado, según el área de análisis. No se utilizó la producción de cobre fino para evitar distorsiones producto de factores geológicos tales como la ley del mineral y la razón estéril mineral, u otras variables, como la recuperación metalúrgica (Comisión Nacional de Productividad, 2017).

Respecto de la fuerza laboral, se consideró la dotación permanente del periodo, incluyendo así tanto a trabajadores propios como a terceros¹. De este modo, la medida de productividad laboral se calculó a nivel de área operativa (incluyendo áreas de apoyo²) y global, según se describe en las ecuaciones a continuación:

$$\text{Productividad laboral} \left[\frac{ktm}{trabajador} \right] = \frac{\text{ktm de material movido mina rajo}}{\text{dotación mina rajo (propios + terceros)}} \quad (1)$$

$$\text{Productividad laboral} \left[\frac{ktm}{trabajador} \right] = \frac{\text{ktm de mineral extraído mina subterránea}}{\text{dotación mina subterránea (propios + terceros)}} \quad (2)$$

$$\text{Productividad laboral} \left[\frac{ktm}{trabajador} \right] = \frac{\text{ktm de mineral procesado planta concentradora}}{\text{dotación planta concentradora (propios + terceros)}} \quad (3)$$

$$\text{Productividad laboral} \left[\frac{ktm}{trabajador} \right] = \frac{\text{ktm de mineral apilado planta hidrometalúrgica}}{\text{dotación planta hidrometalúrgica (propios + terceros)}} \quad (4)$$

$$\text{Productividad laboral} \left[\frac{ktm}{trabajador} \right] = \frac{\text{ktm de material movido mina (rajo y/o subterránea)}}{\text{dotación áreas de apoyo (propios + terceros)}} \quad (5)$$

¹Continúa sin ser posible utilizar una medida de horas-persona o FTE (Full-Time Equivalent), debido a que la completitud y calidad de la información proporcionada por las empresas en este ámbito no fue suficiente.

²Incluye áreas de administración y finanzas, recursos humanos, entre otras.

$$\text{Productividad laboral} \left[\frac{\text{ktm}}{\text{trabajador}} \right] = \frac{\text{ktm de material movido mina (rajo y/o subterránea)}}{\text{dotación global (propios + terceros)}} \quad (6)$$

2.2. Muestra

El conjunto de las empresas consultadas en la EMPAE 2021 constituyen el 99,9 % de la producción nacional de cobre en el año 2021. La muestra seleccionada para esta sección está compuesta por aquellas compañías que aportaron datos válidos para el análisis, esta corresponde al 53,4 % de la producción nacional, donde se incluyen 14 operaciones de la gran minería y 19 del sector de la mediana minería (ver Tabla 5 en Anexos).

Pese a que la muestra total estuvo compuesta por 45 operaciones, para cada área se consideró una submuestra constituida por las faenas que efectivamente cuentan con dicha área y que al mismo tiempo entregaron datos válidos para el análisis. Por ejemplo, solo algunas operaciones trabajan con ambas líneas de beneficio – planta concentradora y planta hidrometalúrgica; plantas de ENAMI no poseen procesos mina, etc. Más importante aún, una relevante cantidad de operaciones pese a tener el área, no reportó datos o no reportó datos válidos para poder realizar el análisis, por este motivo se logra analizar faenas que en total representan el 53,4 % de la producción.

2.3. Resultados

2.3.1. Mina rajo

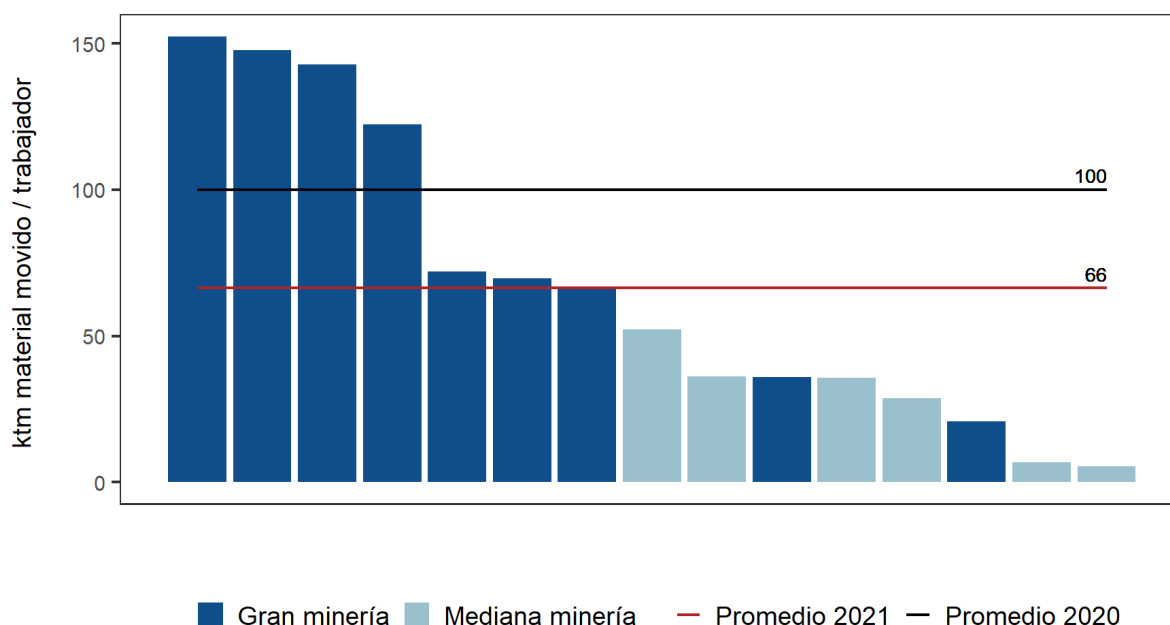
La muestra seleccionada para el cálculo de indicadores de productividad parcial del trabajo en el área mina rajo consideró un total de 16 operaciones, 9 de éstas pertenecen a la gran minería y 7 a la mediana minería.

En la Figura 5 es posible observar una alta heterogeneidad en la productividad laboral de las faenas al interior de la muestra, heterogeneidad dada principalmente por las faenas pertenecientes a la gran minería. Mientras las minas más productivas alcanzan valores superiores a las 100 ktm de material movido por trabajador en el año 2021, las menos productivas registran valores inferiores a 30 ktm por trabajador. Esto podría tener relación con la escala de las operaciones (ya que medianas mineras tienden a presentar menores productividades), equipos utilizados, entre otros.

Existe una clara mayor heterogeneidad entre los valores que presentan las faenas pertenecientes a gran minería, con un rango entre 20 y 152 ktm por trabajador, en contraste con las faenas pertenecientes a la mediana minería, que muestran un rango entre 5 y 52 ktm por trabajador.

La productividad laboral promedio de la muestra considerada para el área mina rajo el año 2021 fue de 66 ktm de material movido por trabajador. Hubo una caída de un 34,0 % respecto del año pasado, lo cual puede ser explicado por dos factores: producto de la pandemia, la dotación total de trabajadores sufrió el año 2020 una importante baja; sin embargo, las empresas fueron capaces de mantener niveles de producción similares a los planificados, haciendo uso de estrategias organizacionales, remotización del trabajo, entre otros. Así, el año 2021 volviendo de la pandemia a tiempos normales, era esperable que se volviera a niveles de dotación y productividad pre-pandemia (en año 2020 este indicador fue de 80 ktm). Por otro lado, otra posible explicación para este resultado es la falta de respuesta y de datos válidos provistos por las empresas. En esta área, el año anterior se tenía una muestra de 22 faenas con datos válidos, en cambio este año ese número se redujo a 16 faenas, una reducción que se dio principalmente en faenas de gran minería, que a su vez se observa son las que cuentan con una mayor productividad laboral. Por lo que esto podría explicar, en parte, la baja en el indicador.

Figura 5: Productividad laboral en mina rajo, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

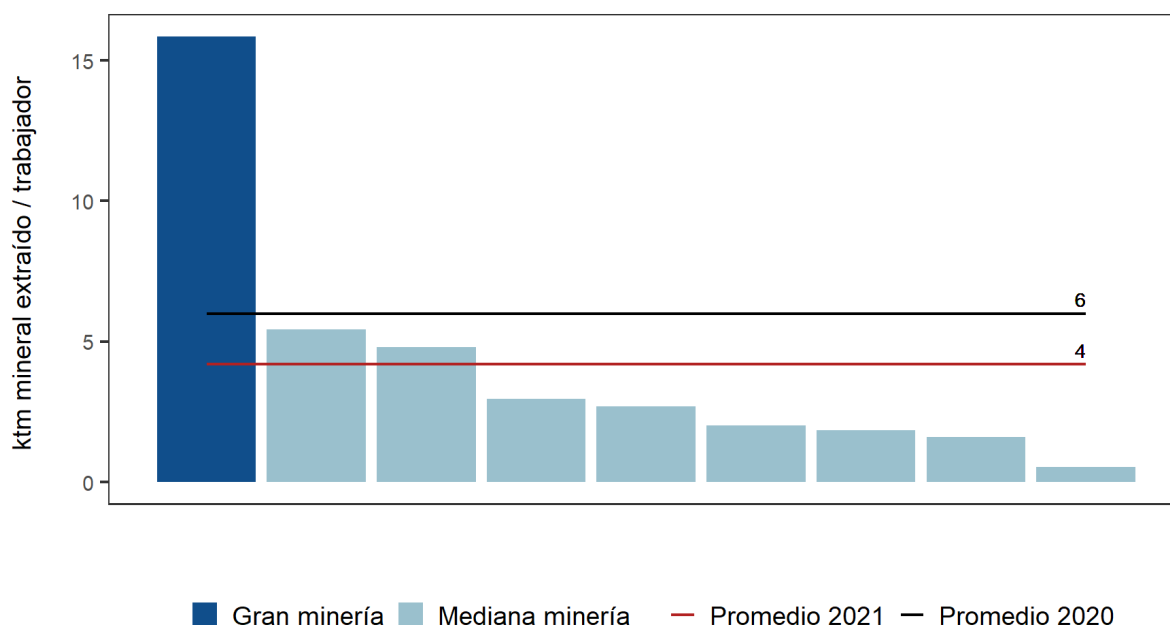
2.3.2. Mina subterránea

En el caso de la mina subterránea, se utilizó una muestra compuesta por 9 faenas, mayoritariamente medianas mineras, siendo 8 de dicha categoría y sólo 1 perteneciente a la gran minería.

Según lo presentado en la Figura 6, en el año 2021 la productividad laboral promedio fue de 4 ktm de mineral extraído por trabajador, aunque con resultados considerablemente heterogéneos entre las minas analizadas, al igual que en el caso de mina rajo. Se evidencia una tendencia de menor productividad en las medianas mineras, respecto de las faenas pertenecientes a la gran minería. Mientras esta última presenta una productividad del orden de 15 ktm de mineral extraído por trabajador, las medianas mineras se mueven en el rango de 1-5 ktm por trabajador.

Cabe mencionar que las amplias diferencias en magnitud entre las productividades de las minas subterráneas y las minas rajo, son debido principalmente a los volúmenes de material involucrados. Según lo definido en la sección 2.1, la productividad laboral en la mina rajo se midió a partir del material movido total, es decir, la suma de mineral y lastre, mientras que en la mina subterránea, por la naturaleza del método, solo se considera el mineral extraído. Además, en términos generales y dada su selectividad, la minería subterránea tiende a ser menos masiva que la minería a cielo abierto.

Figura 6: Productividad laboral en mina subterránea, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

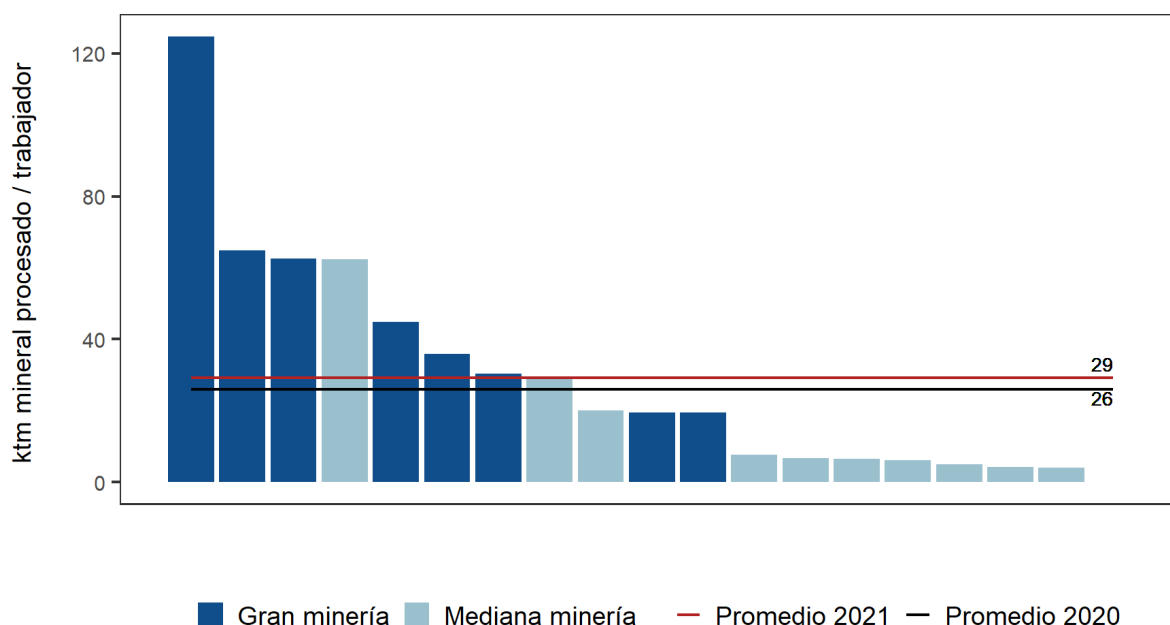
2.3.3. Planta concentradora

Para el análisis de la productividad laboral en el área de la planta concentradora, se consideró una muestra compuesta por 19 faenas, 8 de la gran minería y 11 del sector medianas.

La productividad laboral en la planta concentradora también presenta un amplio rango

de valores, según se observa en la Figura 7. En el año 2021, la muestra presentó una productividad promedio de 29 ktm de mineral procesado por trabajador, un 11,5 % superior a la presentada en el año 2020. Sin embargo, mientras las plantas más productivas procesan del orden de los 60 ktm de mineral por trabajador (sin considerar una por sobre los 120 ktm), las menos productivas presentan valores entre 2 y 6 ktm de mineral por trabajador. Pese a que se observa una relación entre la escala de las operaciones y sus productividades, en este caso algunas plantas de la mediana minería también presentan valores relativamente altos de productividad laboral. De este modo, se puede observar que existe una leve mayor heterogeneidad en los valores de este indicador entre las faenas de mediana minería, moviéndose en un rango entre 4 y 62 ktm de mineral por trabajador, que en las faenas de gran minería, que se mueven en un rango entre 19 y 124 ktm de mineral por trabajador (pero sin considerar la faena con mayor productividad, es entre 19 y 64 ktm de mineral por trabajador).

Figura 7: Productividad laboral en planta concentradora, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

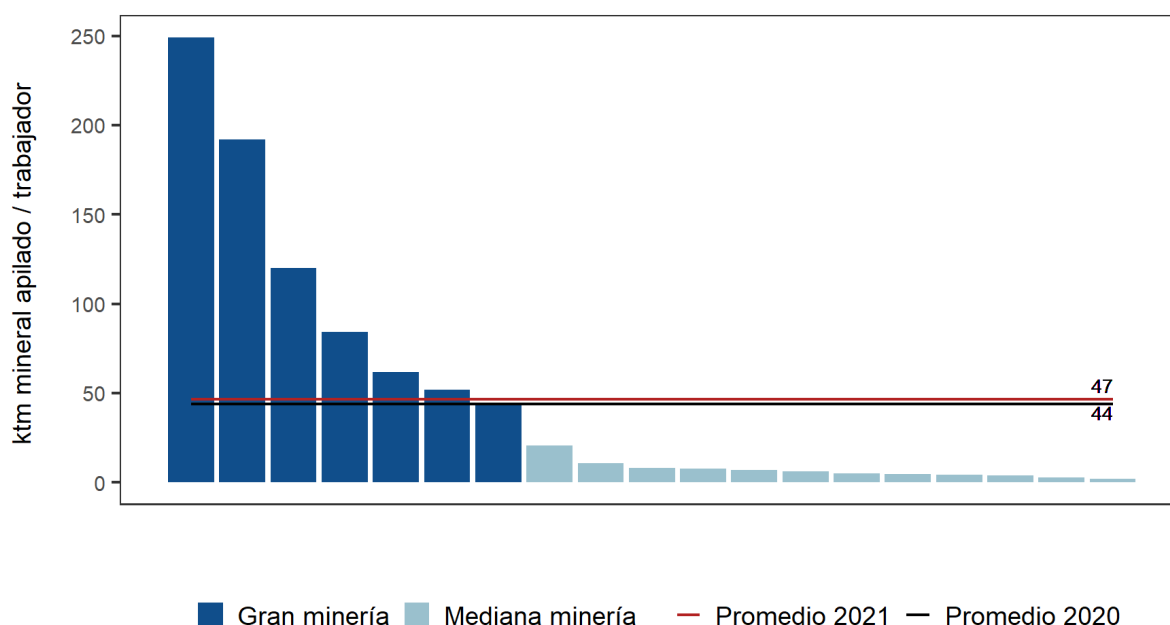
2.3.4. Planta hidrometalúrgica

La muestra seleccionada para esta área consta de un total de 19 operaciones, 7 pertenecientes a la gran minería y 12 a la mediana minería.

Las plantas hidrometalúrgicas consideradas presentan una productividad laboral promedio de 47 ktm de mineral apilado por trabajador en el año 2021 (Figura 8), levemente superior al promedio mostrado el año 2020 (44 ktm). Tal como en el resto de las áreas

analizadas, la muestra presenta una alta variabilidad, con valores máximos por sobre las 100 ktm de mineral apilado por trabajador y valores mínimos inferiores a 10 ktm de mineral por trabajador. También se observa que las faenas de mediana minería presentan en general los menores indicadores de productividad laboral, encontrándose en la parte inferior de la distribución dentro de la muestra analizada y con valores entre 2 y 20 ktm de mineral por trabajador. Así, todas las faenas de mediana minería se encuentran bajo la media del indicador.

Figura 8: Productividad laboral en planta hidrometalúrgica, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

2.3.5. Áreas de apoyo

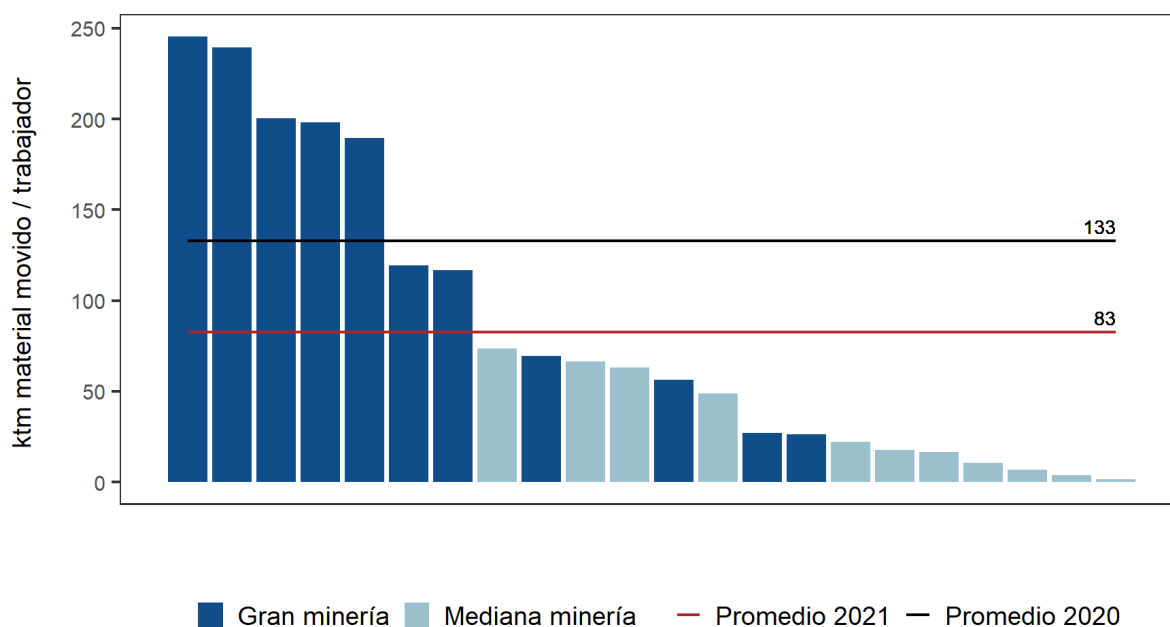
En el análisis de productividad laboral en áreas de apoyo, la muestra considerada incluyó un total de 23 operaciones, 11 pertenecientes a la gran minería y 12 a la mediana minería. Tal como fue mencionado en la sección 2.1 y en la Ecuación 5, la productividad parcial del trabajo para las áreas de apoyo se calculó sobre la base del material total movido en el área mina.

Como se puede observar en la Figura 9, la productividad laboral al interior de la muestra presenta una alta dispersión y se mueve en un amplio rango, de casi 250 ktm.

Se puede observar que las faenas de la mediana minería se concentran en la parte inferior de la muestra. De hecho, todas se encuentran bajo el promedio, dentro de un rango de 2 y 74 ktm de material movido mina por trabajador en áreas de apoyo. Sin embargo, algunas grandes mineras también comparten valores similares.

La productividad promedio en el año 2021 fue de 83 ktm de material movido mina por trabajador en áreas de apoyo, mostrando una caída del 60 % con respecto al año 2020. Esto podría ser explicado fundamentalmente debido a la falta de respuesta y de entrega de datos válidos por algunas faenas, lo que provocó que en este ítem, si bien sólo se cuenta con 3 operaciones menos en el total que el año pasado, son 5 faenas pertenecientes a la gran minería las que estaban en la muestra del año 2020 y hoy no están (el total fue compensado con mayor cantidad de faenas en mediana minería). Como se observa, son las faenas de la gran minería las que muestran, en general, mayores niveles de productividad laboral, por lo que la no inclusión de 5 de éstas podría repercutir fuertemente en el promedio anual.

Figura 9: Productividad laboral en áreas de apoyo, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

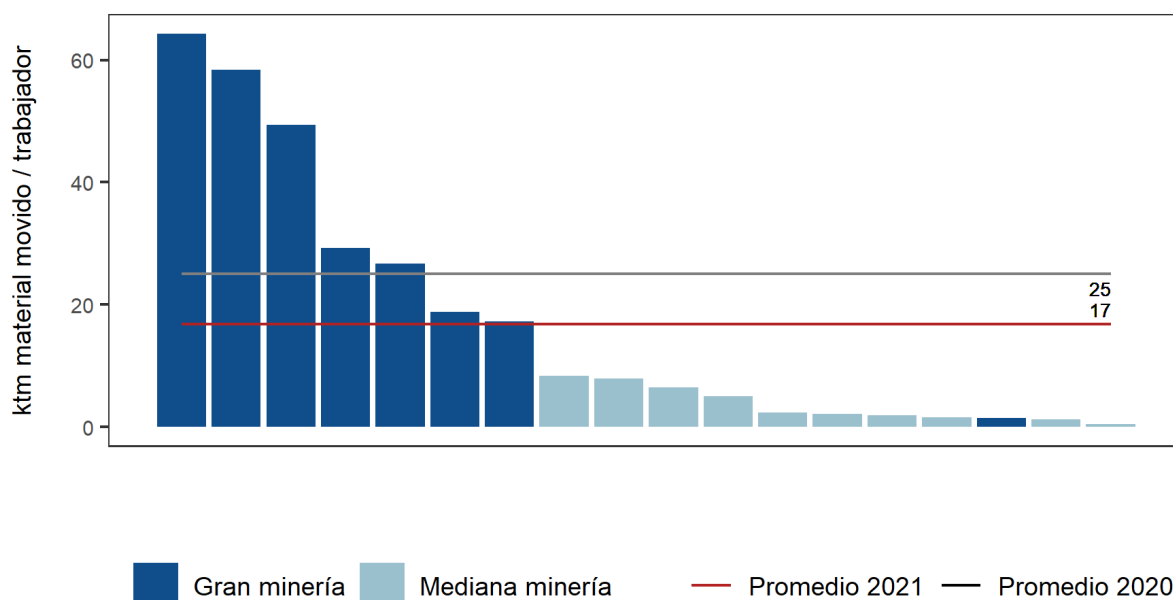
2.3.6. Global

Finalmente, en la Figura 10 se presentan los indicadores de productividad parcial del trabajo global para la muestra seleccionada. En esta se consideran 17 faenas, donde 7 corresponden a la gran minería y 10 a la mediana minería.

La variabilidad de la muestra, en línea con lo observado anteriormente, es significativa, aunque más acotada que en ciertas áreas particulares (por ejemplo, en mina rajo y áreas de apoyo). Asimismo y como se podía prever según los resultados presentados en esta sección, las faenas de la mediana minería tienden a presentar productividades laborales considerablemente menores que las de la gran minería.

Para el año 2021, la productividad laboral global de la muestra fue de 17 ktm de material movido mina por trabajador, considerando la dotación permanente global de cada faena. El resultado promedio muestra una caída de un 32 % con respecto al del año 2020 (25 ktm de material movido mina por trabajador). Esto podría ser explicado, tal como se mencionó anteriormente, por la falta de datos válidos entregados por las operaciones, principalmente de la gran minería (quienes tienden a tener en promedio una mayor productividad) lo que estaría provocando tener un promedio más bajo que el año anterior, cuando se tenían 11 faenas de la gran minería (hoy se tienen sólo 7).

Figura 10: Productividad laboral global por operación, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

2.3.7. Resumen de resultados

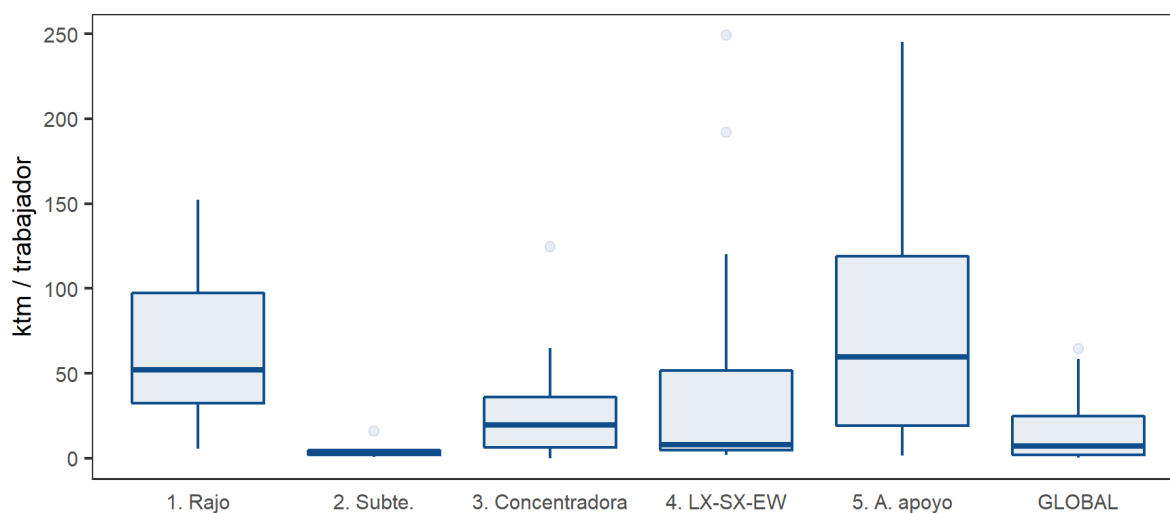
Para el cálculo de indicadores de productividad parcial del trabajo se realizó un levantamiento a nivel de áreas operativas, áreas de apoyo y se incluyó también un indicador de productividad laboral global. Los cálculos se basaron en los tonelajes de material movido/procesado/apilado, según el área analizada. Por lo tanto, aunque en cada caso se midió la productividad laboral como tonelaje por trabajador, las unidades de producción utilizadas difieren según el área considerada (ver sección 2.1).

La Figura 11 resume los resultados obtenidos, aquí es posible observar los niveles de dispersión de los indicadores en cada área y a nivel global. De este modo, mina rajo y áreas de apoyo son las que presentan las mayores variabilidades al interior de las muestras

consideradas en cada caso. Por el contrario, se aprecia que mina subterránea es el área que muestra menor variabilidad, lo cual puede ser por los niveles de producción y debido a que en su mayoría son faenas pertenecientes a la mediana minería.

Finalmente, y tal como fue comentado para cada área, se observó una clara tendencia de las faenas de la mediana minería a presentar productividades laborales significativamente menores que las de la gran minería. Esto se explicaría por el grado de mecanización y automatización mayor en las operaciones de gran escala, y a que las faenas de mediana minería son, en términos generales, más intensivas en empleo en comparación con las grandes mineras.

Figura 11: Resumen de indicadores de productividad laboral, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

3. Productividad parcial del capital

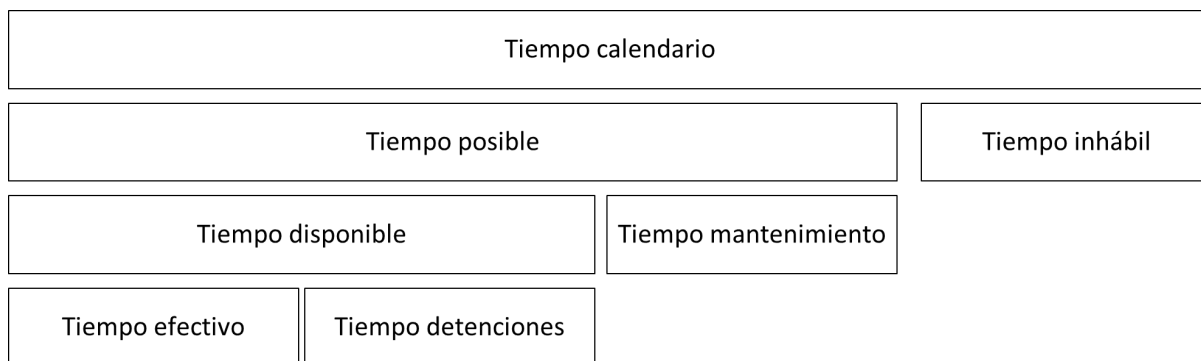
3.1. Metodología

La productividad parcial del capital mide la eficiencia en la utilización del capital físico representado por la maquinaria y los equipos de una operación. Así, se utilizan indicadores de disponibilidad de los equipos, medida como la porción del tiempo posible en la que el activo se encuentra disponible (Ecuación 7), y la utilización, medida como la porción del tiempo disponible en la que el activo es efectivamente utilizado (Ecuación 8). La Figura 12 detalla la distribución de las distintas unidades de tiempo utilizadas en el cálculo de ambos indicadores.

$$\text{Disponibilidad (\%)} = \frac{T_{\text{posible}} - T_{\text{mantenciones}}}{T_{\text{posible}}} \quad (7)$$

$$\text{Utilización (\%)} = \frac{T_{\text{disponible}} - T_{\text{detenciones}}}{T_{\text{disponible}}} \quad (8)$$

Figura 12: Distribución de unidades de tiempo para cálculo de indicadores de productividad.



Fuente: COCHILCO con base en Comisión Nacional de Productividad (2017).

Para este análisis se consideraron ambos indicadores de uso del tiempo del capital para cada uno de los siete procesos: Carguío, transporte, chancado, molienda, área seca y área húmeda (Tabla 1). Para el ejercicio realizado en este informe, en el caso de las minas subterráneas se considera carguío y transporte como un solo proceso unitario.

Tabla 1: Áreas y procesos unitarios analizados.

Área	Proceso unitario
Mina	Carguío (CR)
	Transporte (TR)
	Chancado (CH)
Planta concentradora	Molienda (ML)
Planta hidrometalúrgica	Área seca (AS)
	Área húmeda (AH)

Fuente: COCHILCO.

3.2. Muestra

En conjunto, las empresas consultadas en la EMPAE 2022 constituyen el 99,9 % de la producción nacional de cobre en el año 2021. De éstas, la muestra seleccionada para esta sección, compuesta por aquellas compañías que aportaron datos válidos para el análisis, corresponden al 94,5 % de la producción nacional, donde se incluyen 25 operaciones de la gran minería y 19 de la mediana minería.

Si bien la muestra total estuvo compuesta por 44 operaciones, para cada proceso se consideró una submuestra constituida por las faenas que efectivamente cuentan con dicho proceso, y que al mismo tiempo entregaron datos válidos para el análisis.

3.3. Resultados

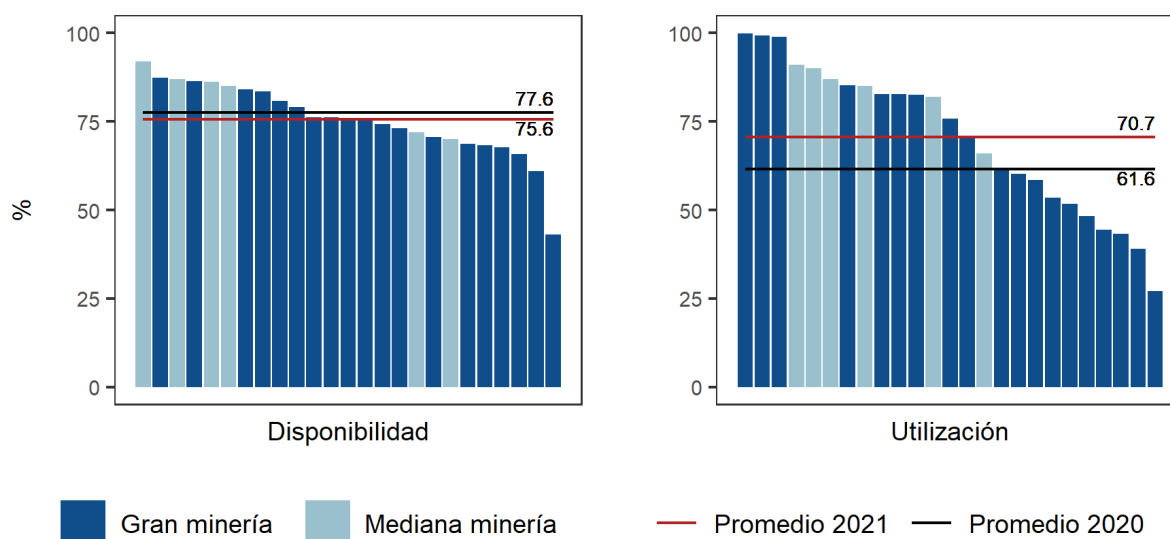
3.3.1. Mina rajo - Carguío

La muestra seleccionada para el cálculo de indicadores de productividad en el proceso de carguío en el área de mina rajo consideró 25 operaciones en total, 19 grandes mineras y 6 medianas.

Como se puede observar en la Figura 13, en promedio los activos de carguío de las empresas catastradas presentaron una disponibilidad de 75,6 % en el año 2021, levemente inferior al promedio del año 2020 (77,6 %). Al igual que en el análisis del año anterior, destacan las medianas mineras con algunos de los más altos desempeños, sobre el 80 %. La diferencia entre las operaciones con mejor y peor disponibilidad de sus activos es de 49,0 puntos porcentuales. Además, se observa un comportamiento relativamente homogéneo entre las faenas que corresponden a la mediana minería.

Respecto de la utilización de equipos o activos de carguío, en promedio las faenas consideradas en la muestra hacen uso de sus equipos un 70,7 % del tiempo disponible, superior a la media del año 2020 (61,6 %). Existe una amplia brecha entre la operación con el mejor nivel de utilización de sus activos y la con el peor desempeño de 72,9 puntos porcentuales. Esta amplia brecha se da por la heterogeneidad mostrada por los resultados en la gran minería, ya que se puede observar que dentro de la mediana minería existe un comportamiento relativamente homogéneo.

Figura 13: Indicadores de productividad del activo carguío en mina rajo, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

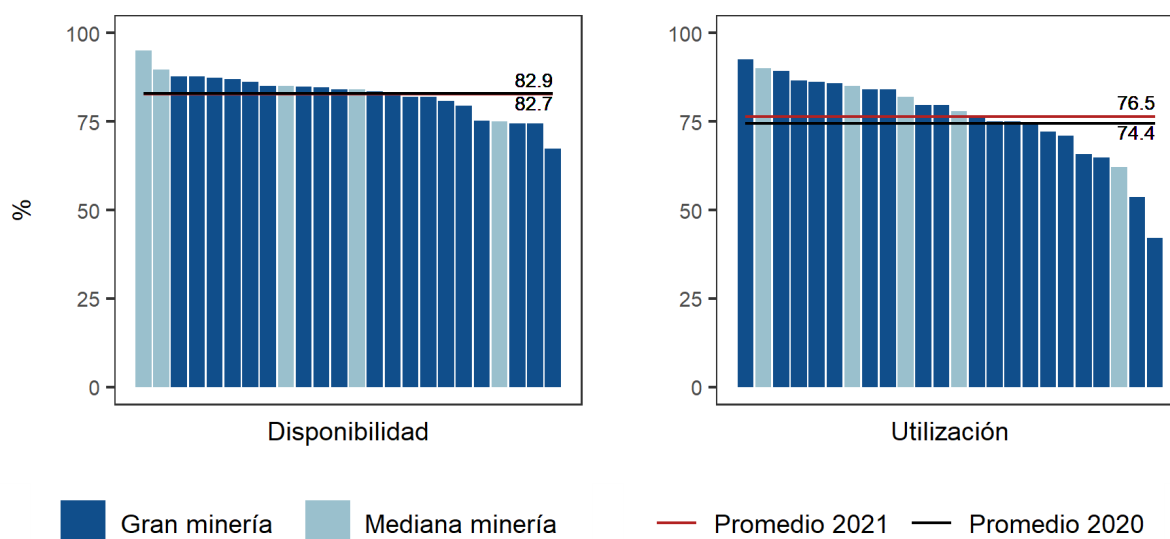
3.3.2. Mina rajo - Transporte

La muestra sobre la que fueron calculados los indicadores de productividad para el proceso de transporte en la mina rajo, incluyó 26 minas en total, 19 pertenecientes a la gran minería y 5 del sector de mediana minería.

La disponibilidad promedio de los activos de transporte en mina rajo alcanzó un valor de 82,7 %, prácticamente igual al promedio del año 2020 (82,9 %). Las dos faenas con mejor índice de disponibilidad corresponden a dos medianas mineras, con un valor de 95,0 % y 89,6 %. La diferencia entre la faena con mejor desempeño y la con peor (67,3 %) es de 28 puntos porcentuales, y de 13,3 si solo se considera la gran minería, brechas bastante menores en comparación a lo visto en carguío (ver Figura 14).

En cuanto a la utilización, los valores alcanzados son significativamente más homogéneos a los de los activos de carguío, ambos procesos estrechamente relacionados. En promedio, los equipos de transporte son utilizados un 76,5 % del tiempo disponible, levemente superior a la media del año anterior (74,4 %). La muestra no presenta una importante variabilidad, excepto por las dos faenas menos productivas. La brecha entre la operación más (92,5 %) y menos productiva (42,2 %) resulta ser de 50 puntos porcentuales.

Figura 14: Indicadores de productividad del activo transporte en mina rajo, año 2021.



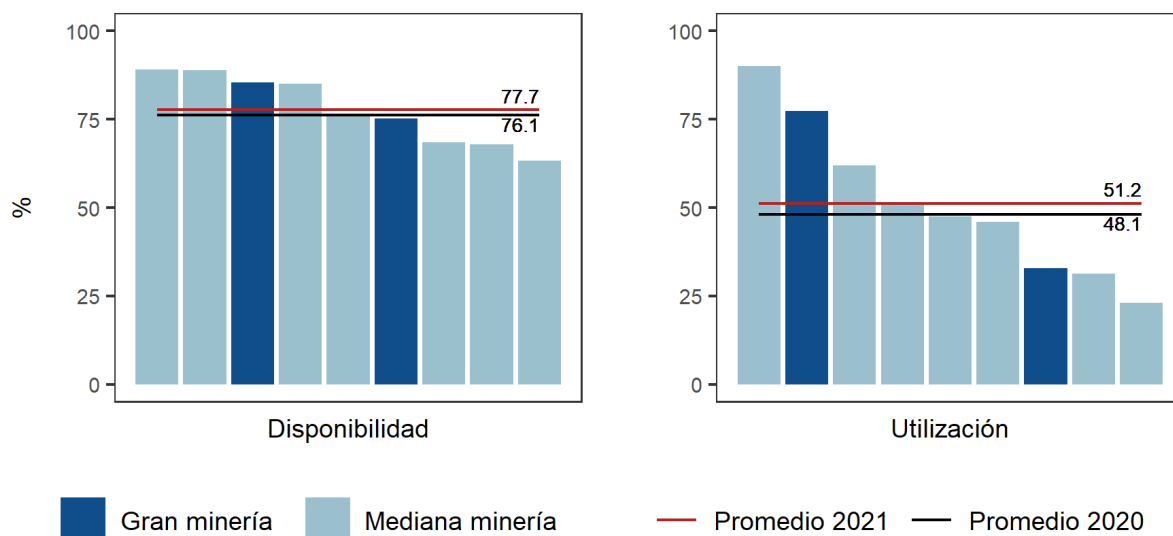
Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

3.3.3. Mina subterránea – Carguío y transporte

Para el análisis de la productividad parcial del capital en los procesos de carguío y transporte en mina subterránea, se consideró una muestra de un total de 9 faenas, mayoritariamente operaciones medianas, siendo éstas 7, y solo 2 grandes mineras. Como se presenta en la Figura 15, los activos de carguío y transporte en la muestra presentaron una disponibilidad promedio de 77,7 % en el año 2021, prácticamente igual a la media del año 2020 (76,1 %), con una variabilidad menor a la mostrada en los procesos anteriores. El indicador de la faena con el mejor índice de disponibilidad (89,0 %) es 25,7 puntos porcentuales mayor que aquella con el peor desempeño (63,3 %).

En el caso del indicador de utilización, el promedio fue de 51,2 %, levemente superior a la media del año anterior (48,1 %) y significativamente inferior que el desempeño promedio de los activos tanto de carguío como de transporte en mina rajo. Este proceso también presenta un mayor rango entre los indicadores de las distintas faenas de la muestra, con una importante brecha entre la faena con el mejor indicador de utilización (90,0 %) y aquella con el peor desempeño (23,0 %), de 67 puntos porcentuales.

Figura 15: Indicadores de productividad del activo carguío y transporte en mina subterránea, año 2021.



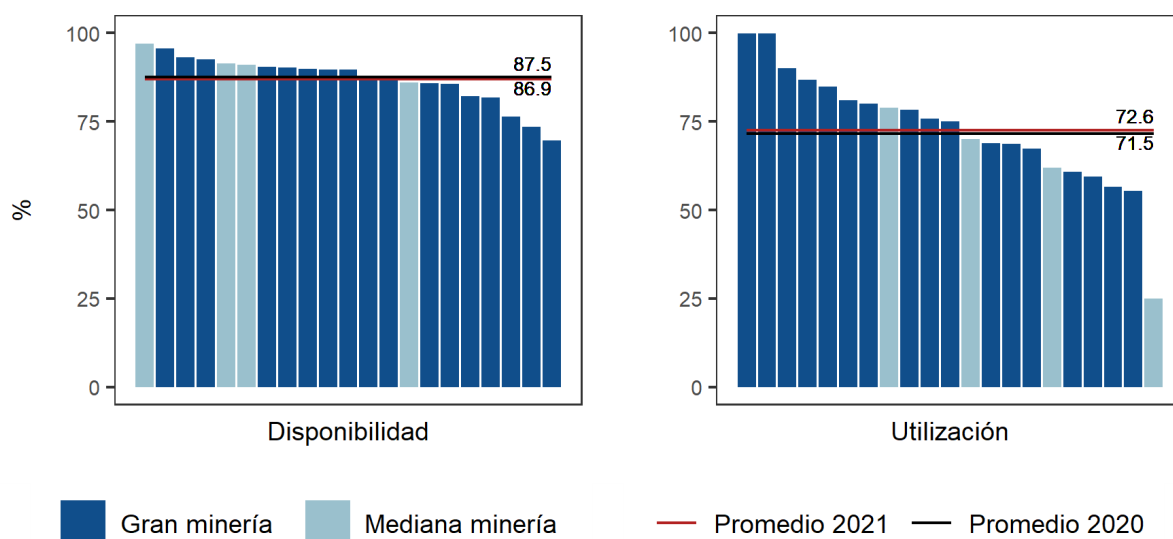
Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

3.3.4. Mina - Chancado

En la muestra seleccionada para el análisis de la productividad parcial del capital en el proceso de chancado se consideraron 21 minas tanto a rajo abierto como subterráneas, 17 pertenecientes a la gran minería y 4 al sector de la mediana minería.

Como se observa en la Figura 16, las operaciones en la muestra presentaron un comportamiento relativamente uniforme respecto de la disponibilidad de sus activos de chancado, con una baja variabilidad y un valor promedio de 86,9 %, prácticamente mismo promedio del año 2020. Sin embargo, el indicador de utilización presentó una mayor dispersión alrededor de su promedio de 72,6 % (similar al del año 2020, 71,5 %), con una brecha de más de 74 puntos porcentuales entre la faena con mayor (99,9 %) y menor (25,0 %) utilización. Ahora bien, se puede observar que es la faena con menor índice la que aumenta principalmente el rango, sin ésta, el rango se reduce a 44,5 puntos porcentuales.

Figura 16: Indicadores de productividad del activo chancado, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

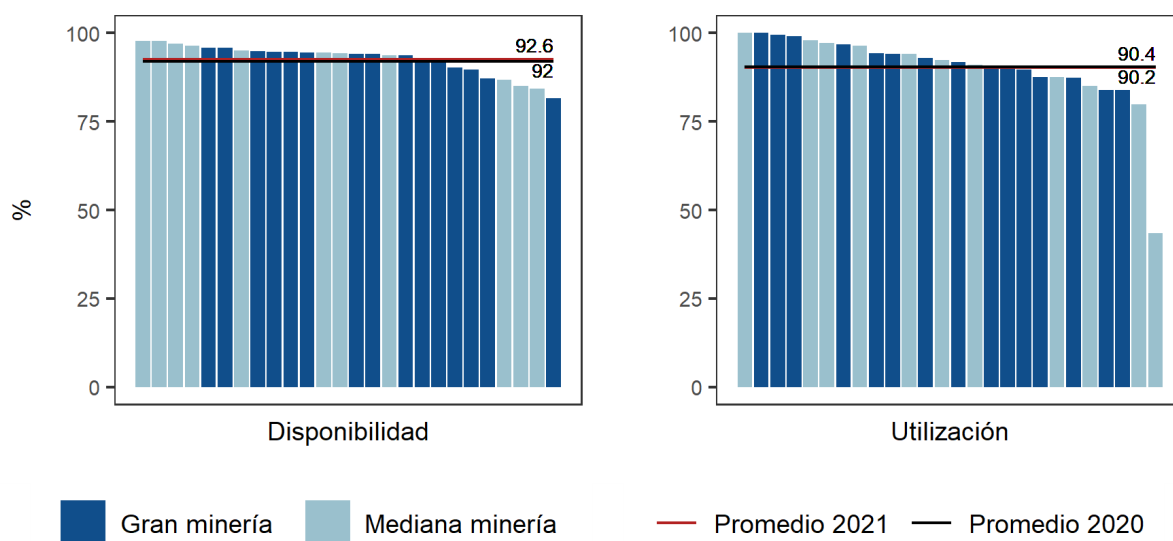
3.3.5. Planta concentradora – Molienda

Para el análisis del proceso de molienda en la planta concentradora, se consideró una muestra de 26 faenas, 15 grandes mineras y 11 medianas.

Molienda presenta un alto nivel de disponibilidad, alcanzando un valor promedio de 92,6 % del tiempo posible, prácticamente misma media del año 2020 (Figura 17). Asimismo, la muestra presenta una baja variabilidad y no son notorias las diferencias entre gran y mediana minería.

De manera similar, la utilización promedio de la muestra fue de 90,2%, prácticamente misma media del año anterior y, al igual que en el indicador de disponibilidad, no presenta gran variabilidad, excepto por la faena menos productiva. La brecha entre la planta con mejor utilización (cercano a 100,0%) y la con el menor nivel (43,4%) es de 57 puntos porcentuales. Considerando exclusivamente las grandes mineras, la brecha se reduce solo a 16,2 puntos porcentuales.

Figura 17: Indicadores de productividad del activo molienda en planta concentradora, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

3.3.6. Planta hidrometalúrgica – Área seca

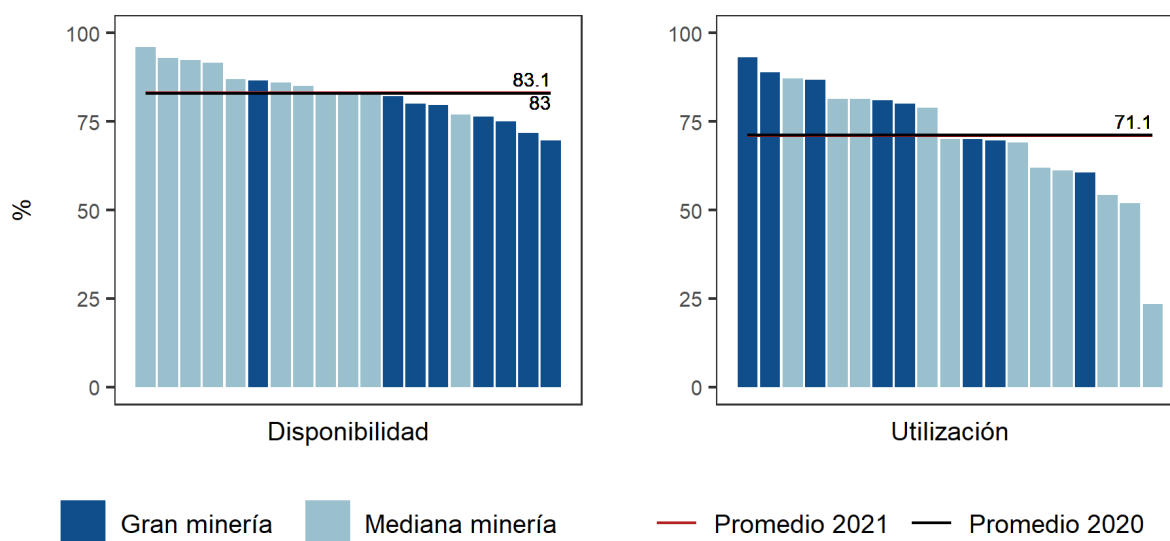
Como se indicó en la sección 3.1, en el caso de la planta hidrometalúrgica se consideraron dos procesos unitarios para el análisis: área seca, que incluye las etapas de chancado secundario y terciario, aglomeración, apilamiento y lixiviación; y área húmeda, correspondiente a los procesos de extracción por solvente (SX) y electrowinning (EW).

La muestra seleccionada para el proceso de área seca estuvo compuesta por 19 plantas, 8 de la categoría gran minería y 11 de mediana minería.

La disponibilidad promedio de los activos en la muestra fue de 83,1 %, misma media del año anterior (83,0 %). Se observa una baja variabilidad, como muestra la Figura 18: hay 26,4 puntos porcentuales de diferencia entre la planta con el indicador más alto de disponibilidad (96,1 %) con aquella que tiene el peor desempeño (69,7 %).

Respecto de la utilización de los activos en el área seca, el valor promedio de la muestra fue de 71,1 %, igual a la media del año 2020, y mostrando una mayor heterogeneidad en comparación con los indicadores de disponibilidad: el rango del indicador es de 69,8 puntos porcentuales. Aún así, tal como se ve gráficamente, este amplio rango se ve afectado principalmente por la faena con menor indicador, el rango sin considerarla se reduce a 41,2 puntos porcentuales.

Figura 18: Indicadores de productividad del área seca en planta hidrometalúrgica, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

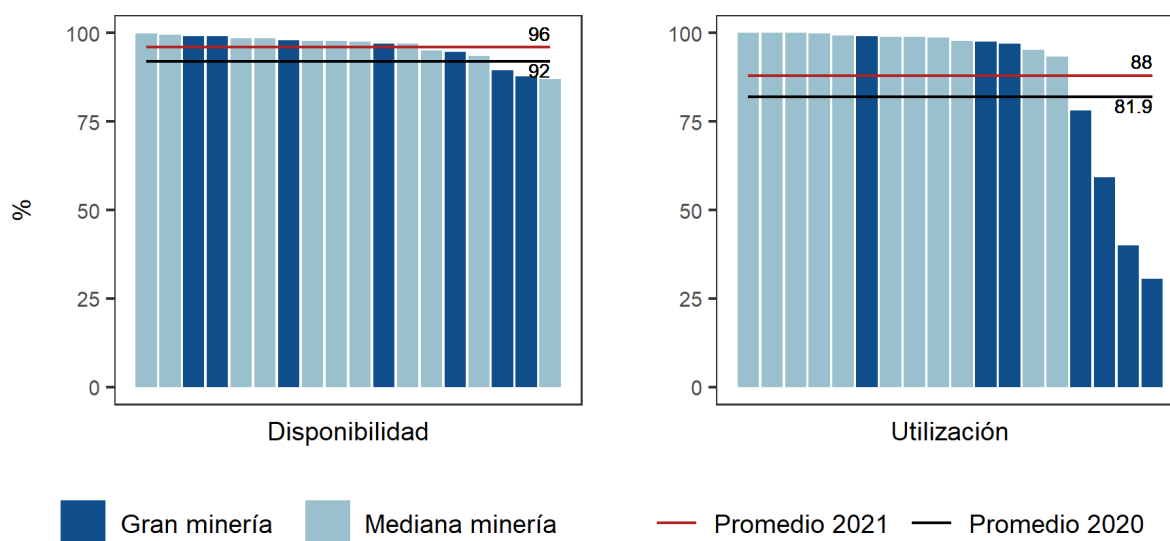
3.3.7. Planta hidrometalúrgica – Área húmeda

Finalmente, el análisis de la productividad parcial del capital en área húmeda consideró una muestra de 18 plantas hidrometalúrgicas, 7 de estas corresponden a la gran minería y 11 a la mediana minería.

Según se observa en la Figura 19, los activos de área húmeda presentan altos niveles de disponibilidad, alcanzando un valor promedio de 96,0 %, superior al año anterior (92,0 %). La variabilidad en la muestra es acotada, exhibiendo un rango de sólo 12,9 puntos porcentuales. Además, no es clara una relación entre el indicador y el nivel de producción, mostrando así niveles similares entre gran y mediana minería.

Como se observa en la misma Figura 19, el indicador de utilización presenta una alta heterogeneidad, muy por sobre la de disponibilidad. Si bien la utilización promedio fue de 88,0 %, superior al promedio de 81,9, la diferencia entre la planta más (100 %) y menos productiva (30,5 %), en cuanto a utilización se refiere, es de 69 puntos porcentuales.

Figura 19: Indicadores de productividad del área húmeda en planta hidrometalúrgica, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

3.3.8. Resumen de resultados

En las Figuras 20 y 21 se presentan los indicadores de disponibilidad y utilización, levantados para el año 2021, donde se resumen las tendencias observadas en las secciones anteriores.

En primer lugar, tanto en el caso de la disponibilidad de los activos como en su utilización, los procesos de molienda en la planta concentradora y el área húmeda en la planta hidrometalúrgica presentan las productividades promedio más elevadas de los procesos analizados, además de que la mayor parte de la muestra tiende a concentrarse cercana a la media, siendo así procesos que muestran menor heterogeneidad. Estos resultados tienen relación con la naturaleza de estos procesos, los cuales son continuos y dado que detenerlos es crítico para todo el proceso productivo de la operación, cada detención se suele realizar con una debida planificación, lo que a su vez permite optimizar el mantenimiento, minimizando detenciones forzadas y maximizando el uso eficiente de estos activos. A lo anterior se suma que estos procesos no tienen una gran cantidad de variables externas que los puedan afectar y forzar una detención, a diferencia de procesos como transporte, por ejemplo.

Respecto de los procesos unitarios con menor productividad parcial de capital, en el caso de la disponibilidad (Figura 20) se observa que el con peor desempeño serían carguío y transporte en mina subterránea (3) seguido por carguío en mina rajo (1). En utilización ocurre algo similar; siendo el peor transporte en mina subterránea (3), y luego carguío

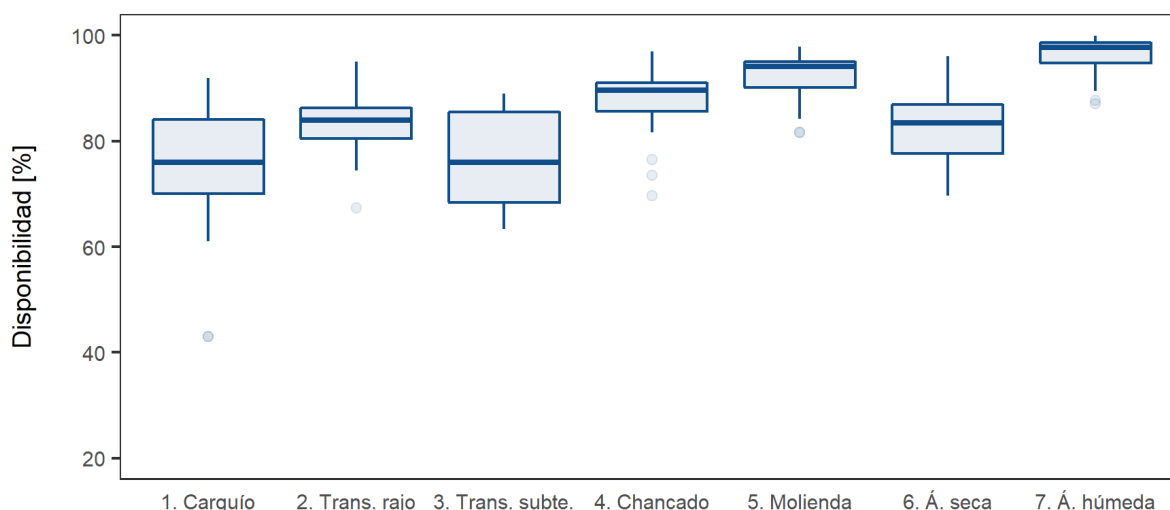
en mina rajo (1), transporte en mina rajo (2), chancado (4) y área seca (6), donde estos últimos cuatro procesos tienen una media muy similar. A diferencia de lo mencionado respecto de Molienda y Área húmeda, estos procesos cuentan con un funcionamiento discontinuo y además su funcionamiento depende de más variables externas, y por lo tanto, existe mayor cantidad de posibles interferencias. Esto explicaría parte de las detenciones y el mayor requerimiento de mantenimiento, lo cual tiene un impacto negativo en el uso eficiente de estos activos.

Finalmente, es posible observar que en términos generales los indicadores de utilización presentan una mayor dispersión (Figura 21), mayores diferencias entre faenas, y adicionalmente, valores promedio menores que los de disponibilidad, para cada proceso analizado.

Es importante mencionar que a diferencia de lo visto en los indicadores de productividad laboral, aquí no se observan tendencias claras relacionadas con la escala de las operaciones (gran minería vs. mediana minería).

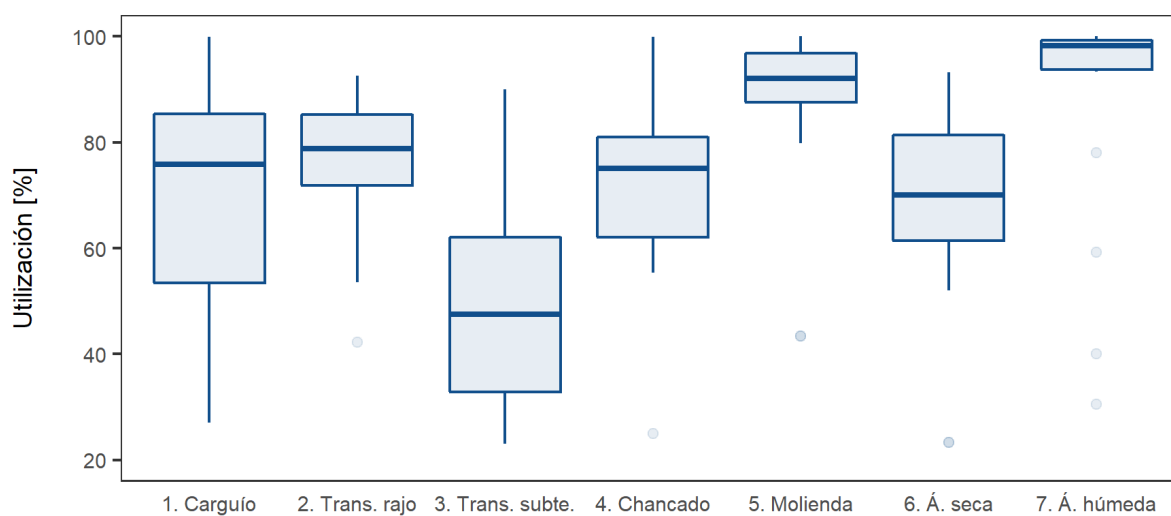
Se observa que se han mantenido resultados similares que lo encontrado en el año 2020. El proceso donde se ve un mayor cambio fue área húmeda, donde hay un alza tanto en los indicadores de disponibilidad como de utilización.

Figura 20: Resumen de indicadores de disponibilidad, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

Figura 21: Resumen de indicadores de utilización, año 2021.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2022.

4. Productividad total de factores

Una de las metodologías más utilizadas en la literatura para la estimación de la productividad corresponde al residuo de Solow, el cual explica toda aquella parte del crecimiento de la producción que no se debió al aumento de los factores considerados, como capital y trabajo (Solow, 1957; de Solminihac et al., 2020, 2014; Comin, 2010).

Esta metodología, la Productividad Total de Factores (PTF), asume que el cambio tecnológico es exógeno, es decir, no provoca cambios en la distribución de la relación entre los factores de producción, manteniendo así la tasa marginal de sustitución constante (Solow, 1957; de Solminihac et al., 2014), afectándolos en igual proporción. De este modo, la función de producción sería de la siguiente forma:

$$Y = A \cdot f(K, L) \quad (9)$$

Donde A , representa a la PTF, la cual mide el efecto acumulado de los cambios a lo largo del tiempo. La manera de obtener este valor es mediante la diferencia entre la producción real de una faena en particular, en un periodo determinado, y una producción predicha a partir de sus factores productivos. Se asume que existen rendimientos constantes a escala y que los factores son remunerados en función al producto marginal.

En este caso, dado que la minería es una actividad económica basada en la extracción de recursos naturales, es necesario incorporar adicionalmente en la función de producción otros factores que podrían contribuir a la calidad del recurso natural, es decir, factores geológicos, tal como se realiza en Lasserre & Ouellette (1988). De no incorporarse, el residuo de Solow también se vería afectado por el agotamiento continuo de un recurso no renovable (Rodríguez & Arias, 2008).

La tasa de variación de la PTF corresponde a la diferencia entre la tasa de crecimiento de producción real y una tasa de crecimiento estimada por sus factores productivos. En este sentido, la PTF es una medida desconocida, la cual puede ser interpretada de múltiples maneras, como por ejemplo, la variación de la producción debido a cambios tecnológicos, cambios culturales dentro de la organización, cambios en la gestión de la firma, distintas calidades de los insumos, entre otros. El cálculo del logaritmo de PTF se muestra en la ecuación:

$$\ln \left(\frac{A}{a} \right) = \ln \left(\frac{Q}{q} \right) - \ln \left(\frac{A\hat{Y}}{y} \right) \quad (10)$$

Donde A corresponde a la Productividad Total de Factores o PTF, entendida como la va-

riación en la producción que no es explicado por el aumento o disminución de los factores productivos. Q es la producción real anual de una industria y/o firma. $\hat{Y}$ es la producción predicha en función de sus factores productivos.

4.1. Metodología

La estimación se realizó asumiendo que la forma funcional de la función de producción puede ser definida como una función del tipo Cobb-Douglas con rendimientos constantes a escala (de Solminihac et al., 2014; Van Beveren, 2012).

Tal como se mencionó en la sección anterior, al ser la minería una industria extractiva, es necesario considerar el recurso geológico como factor productivo, ya que de no ser considerado este efecto estaría sesgando la PTF.

De este modo, las variables consideradas como factores de producción en este ejercicio fueron las siguientes: dotación de trabajadores (L), que incluye tanto trabajadores propios como subcontratados; stock de capital físico (K), está en precios reales y rezagado un periodo (considerando el desfase entre el momento de la inversión en activos y la materialización de su impacto en la producción); consumo total de energía (E) como medida de la intensidad de uso del capital físico, incluyendo consumo de electricidad y combustibles; como proxy del factor geológico se consideró la ley del mineral, que corresponde a una aproximación de la calidad de éste (Lasserre & Ouellette, 1988); razón estéril mineral (REM) que es una aproximación del esfuerzo relativo a su extracción (COCHILCO, 2014), el mineral procesado (M) como insumo para la producción; la recuperación metalúrgica (R) como medida de la eficiencia global del procesamiento del mineral. Así, la ecuación de producción quedaría representada de la siguiente forma:

$$Q_{it} = PTF_{it} L_{it}^{\beta_L} K_{it}^{\beta_K} E_{it}^{\beta_E} REM_{it}^{\beta_{REM}} Ley_{it}^{\beta_{Ley}} M_{it}^{\beta_M} R_{it}^{\beta_R} \quad (11)$$

Por lo tanto, se debe estimar la función de producción como fue mencionado en el capítulo anterior. Linealizando la ecuación 11 se obtiene la ecuación 12, que es finalmente estimada. De esta forma, la producción (Q) de una faena i en el año t estaría dada por:

$$\begin{aligned} \ln(Q_{it}) = & PTF_{it} + \beta_L \ln(L_{it}) + \beta_K \ln(K_{it}) + \beta_{REM} \ln(REM_{it}) + \\ & \beta_{Ley} \ln(Ley_{it}) + \beta_M \ln(M_{it}) + \beta_R \ln(R_{it}) + \epsilon_{it} \end{aligned} \quad (12)$$

Se incluye el consumo energético (electricidad y combustible) como una medida para corregir la intensidad de uso del capital, considerando que también puede ser utilizado como un proxy del nivel efectivo del capital físico utilizado.

De esta forma y siguiendo la metodología utilizada por la Comisión Nacional de Productividad (2017), se corrige el stock de capital físico con el consumo energético para obtener una medida más cercana al capital efectivamente utilizado en el periodo. Además, se considera el rezago de la variable pues el periodo donde se contabiliza la inversión en capital usualmente no coincide con su uso. Así, el capital físico está dado por:

$$\hat{K}_{it} = \exp(\ln(E_{it}) - \ln(E_{it})^T) \cdot K_{it-1} \quad (13)$$

Donde, la primera expresión en el lado derecho corresponde a las desviaciones del logaritmo del consumo energético $\ln(E_{it})$ (el que incluye tanto electricidad como combustible) respecto de su tendencia $\ln(E_{it})^T$. Para el cálculo de la tendencia del consumo energético se utiliza un filtro Hodrick-Prescott durante el periodo en estudio.

Por último, la variable dependiente utilizada es la producción de cobre en Chile. Ésta fue utilizada mediante dos variables; por un lado medido como cobre equivalente, lo que incluye así la producción equivalente en cobre a partir de subproductos tales como molibdeno, oro y plata, y por otro, medido como producción de cobre fino.

4.2. Muestra

Según las definiciones establecidas en la sección 4.1, para la estimación de la función de producción de cobre se utilizaron como factores productivos las siguientes variables: capital (medido como stock de maquinarias y plantas), trabajo (dotación de personal), consumo total de energía (eléctrica y combustible) y la calidad del recurso geológico. El recurso geológico es modelado utilizando la ley del mineral, que corresponde a una aproximación de la calidad del mismo, la razón estéril mineral que es una aproximación del esfuerzo relativo a su extracción y la recuperación metalúrgica global de la faena. Para el caso del capital físico, el valor nominal fue deflactado, de este modo está en moneda 2021. La definición de las variables y su fuente se muestra en la Tabla 2.

Para este ejercicio, se utilizaron datos históricos de 30 faenas con cobre como producto principal de la gran y mediana minería, entre los años 2004 y 2021. En total, la muestra considerada representó el 96,8 % de la producción de cobre en Chile el año 2021. La Tabla 3 muestra la estadística descriptiva de las variables consideradas en el modelo de Productividad Total de Factores, con el fin de presentar el comportamiento de los factores

productivos.

Tabla 2: Variables consideradas en el análisis.

Variable	Descripción variable	Fuente
Producción (Q)	Cantidad de cobre fino equivalente contenido (Ktmf)	COCHILCO
Dotación de personal (L)	Cantidad de trabajadores, propios y terceros, permanentes dentro de las faenas mineras (# personas)	SERNAGEOMIN
Capital físico (K)	Stock de capital físico acumulado en propiedades, plantas y equipos (US\$ miles moneda 2020)	EEFF.
Consumo de energía (E)	Energía total consumida, incluye combustible y electricidad (MJ)	COCHILCO
Razón estéril mineral (REM)	Es una medida relativa entendida como el esfuerzo a aplicar para la extracción	COCHILCO
Ley de cobre en mineral (Ley)	Ley promedio del mineral enviado a planta (%)	COCHILCO
Mineral procesado (M)	Mineral procesado como insumo para la producción (Ktm)	COCHILCO
Recuperación metalúrgica (R)	Recuperación metalúrgica global de la faena (%)	COCHILCO

Fuente: COCHILCO.

Tabla 3: Estadística descriptiva de operaciones de la muestra en el periodo 2004-2021.

Variable	Unidad	Promedio	Mínimo	Máximo	SD	Mediana
Cobre eq	Ktmf	250.42	6.89	1,516.90	276.03	151.22
Capital real	US\$ m	2,208,863.14	-	16,087,491.94	2,615,062.54	1,181,716.11
Trabajo	# pers	5,391.39	350.08	27,740.00	4,683.91	3,588.00
Energía	MJ	5,843,115.39M	467,968.29M	31,194,780.89M	5,256,730.02M	4,061,217.88M
Ley	%	0.75	0.11	1.97	0.31	0.72
REM	Un.	2.22	0.00	23.59	2.56	1.61
REC	%	75.99	22.22	95.29	14.47	80.20

Fuente: COCHILCO.

Se espera que las variables stock de capital físico, dotación de personal, consumo de energía, ley de cobre y recuperación metalúrgica global, tengan un signo positivo debido a que inciden positivamente en la producción. Por otro lado, la variable razón estéril mineral, dado que es una variable relativa al esfuerzo de extracción que se da en el método de extracción a rajo abierto, se espera tenga signo negativo.

4.3. Resultados

La Tabla 4 muestra los resultados de las 6 especificaciones realizadas para el cálculo de la PTF agregada de la muestra seleccionada, utilizando como variable a explicar la producción medida tanto como cobre equivalente, como cobre fino. Como se observa, no hay mayores diferencias entre los modelos con ambas variables de producción de cobre como variable dependiente, ni hay mayor variación en las magnitudes de los coeficientes al comparar las distintas especificaciones (sin stock de capital, con stock de capital rezagado y con stock de capital corregido con energía), lo cual da mayor robustez a los resultados. Es posible ver que los signos que acompañan a los coeficientes son los esperados intuitivamente, con excepción de la variable de dotación de trabajadores, la cual tiene signo negativo pero no es significativa, siendo así su coeficiente cercano a 0.

La Figura 22 muestra los resultados para el periodo analizado. Es importante recalcar que el rango mostrado en la figura no corresponde a un intervalo de confianza, si no que al espacio de variación de los resultados obtenidos a través de las distintas especificaciones.

Los resultados dan cuenta de una importante caída de la productividad de la industria minera nacional, mostrando una baja acumulada de aproximadamente 27 puntos porcentuales entre el año 2004 y 2021, es decir, una disminución anual promedio de 1,8 % en la PTF, donde se pueden diferenciar visualmente tres periodos. El primero, corresponde al periodo 2004-2009, donde se aprecia una fuerte caída en la productividad, experimentando una tasa de decrecimiento promedio anual de -5,9 %. El segundo periodo comprende entre el año 2009 y 2016, donde si bien se puede observar una tendencia negativa, ésta se mantiene relativamente estable, mostrando una tasa promedio de -0,5 %. Por último, el periodo entre 2016 y 2021 exhibe una tendencia al alza hasta el año 2020, reforzada aún más por la pandemia y la desmovilización asociada (durante este periodo se muestra una tasa de crecimiento promedio anual de 4,1 %). Este aumento moderado a partir del año 2016, podría estar relacionado con los esfuerzos realizados por las distintas compañías mineras por mejorar la eficiencia de sus procesos y contener sus costos, tras el término del súper ciclo. Sin embargo, esta tendencia se rompe el año 2021, año en que hubo una caída de 12,9 % de la productividad (medida como residuo de Solow). Así, hacia el fin del periodo de análisis la productividad alcanza valores cercanos al 73 % de la PTF en el año 2004.

Existen distintas razones que podrían explicar esta fuerte caída en la productividad para el año 2021. El año 2020, producto de la pandemia hubo una fuerte desmovilización de personal, por lo que se esperaba una disminución de todos los factores y así una baja en la producción, pero al contrario de lo que se hubiera pensado, la producción nacional

Tabla 4: Resultados estimación de coeficientes para cálculo de PTF.

	<i>Variable dependiente:</i>					
	Log(Cobre equivalente)			Log(Cobre fino)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
log(L)	-0.097 (0.071)	-0.042 (0.076)	-0.047 (0.077)	-0.074 (0.067)	-0.025 (0.074)	-0.027 (0.075)
log(K_{t-1})		-0.062* (0.036)			-0.045 (0.034)	
log($\hat{K}_{t-1}$)			-0.070** (0.029)			-0.057** (0.028)
log(E)	0.423*** (0.140)	0.456*** (0.147)	0.489*** (0.146)	0.435*** (0.141)	0.463*** (0.146)	0.493*** (0.144)
log(REM)	-0.050*** (0.012)	-0.047*** (0.012)	-0.046*** (0.012)	-0.049*** (0.012)	-0.044*** (0.010)	-0.044*** (0.010)
log(M)	0.398*** (0.142)	0.398*** (0.145)	0.398*** (0.144)	0.378*** (0.137)	0.379*** (0.138)	0.379*** (0.138)
log(Ley)	0.570*** (0.084)	0.574*** (0.083)	0.574*** (0.082)	0.567*** (0.085)	0.580*** (0.085)	0.578*** (0.084)
log(R)	0.624*** (0.145)	0.654*** (0.161)	0.656*** (0.160)	0.585*** (0.135)	0.618*** (0.152)	0.618*** (0.151)
Pandemia (2020 = 1)	-0.111 (0.107)	-0.100 (0.120)	-0.103 (0.120)	-0.118 (0.106)	-0.109 (0.118)	-0.110 (0.118)
Observations	377	365	363	377	365	363
R ²	0.600	0.600	0.601	0.610	0.609	0.611
Adjusted R ²	0.558	0.554	0.557	0.569	0.565	0.568

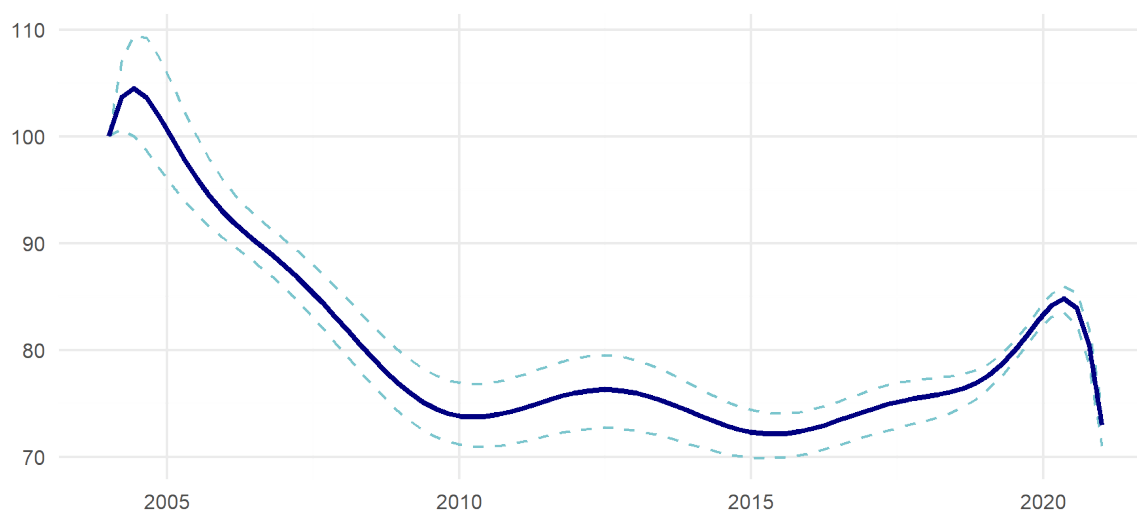
Note:

*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

se mantuvo relativamente estable. Por lo que, se deduce que para lograr producir en un nivel similar pero con menos personal, las operaciones debieron recurrir a otras variables como ley o recuperación.

De este modo, el año 2020 probablemente en las distintas faenas se reenfocaron en zonas de alta ley, ocuparon mineral de stock, y/o tuvieron que recurrir a optimizar los procesos, por ejemplo disminuyendo paradas de planta, es decir, mantenimientos. Estas medidas adoptadas tienen repercusiones en la producción de los años siguientes. De algún modo lo que tendió a hacer la industria el año 2020 fue "suavizar" la caída en la producción debido a este gran shock externo que fue la pandemia, por lo que hoy se observa una mayor caída en la producción que en el año 2020.

Figura 22: Evolución de la PTF en la muestra seleccionada, periodo 2004-2020.



Fuente: COCHILCO con base en EMPAE 2021.

5. Comentarios finales

COCHILCO ha desarrollado una línea de trabajo para el monitoreo periódico de indicadores de productividad desde el año 2018. Específicamente, este reporte está enfocado en el levantamiento de indicadores de productividad parcial del trabajo, productividad parcial del capital, y en la medición de la Productividad Total de Factores (PTF) en la industria.

Respecto de los indicadores de productividad parcial del trabajo, resulta relevante destacar:

- En cada área analizada se observó una dispersión significativa de la productividad laboral a excepción de subterránea.
- Las faenas de la mediana minería presentan en general productividades laborales muy por debajo de los indicadores de la gran minería.
- En el global, la productividad laboral promedio tendió a tener una baja respecto del año 2020, mostrando caídas principalmente en mina rajo y áreas de apoyo.

Existen mejoras que se podrían realizar al indicador, como por ejemplo reemplazar las dotaciones por una medida de horas-persona o FTE. Sin embargo, para lograrlo se debe avanzar en la comunicación con las empresas mineras que participan en esta encuesta, para obtener los datos necesarios suficientemente precisos para ser incorporados en el análisis. Considerar que en muchos casos la dotación de trabajadores por proceso ya es difícil de obtener, lo cual dificulta aún más el cálculo y análisis de los indicadores, por lo que el trabajo en la comunicación y la colaboración con las empresas es crucial para este análisis.

Por otro lado, de los resultados obtenidos en términos de la productividad parcial del capital se puede indicar lo siguiente:

- Los procesos de molienda en planta concentradora y área húmeda en planta hidrometalúrgica presentan los mayores indicadores de disponibilidad y utilización promedio, lo cual va en línea con el funcionamiento continuo de estos procesos.
- Carguío en mina rajo y carguío y transporte en mina subterránea presentan los menores niveles promedio de disponibilidad. En utilización, son los mismos procesos, principalmente carguío y transporte en mina subterránea, el que muestra el peor desempeño.

- En general, los indicadores de utilización presentan una mayor dispersión y valores promedio más bajos que los de disponibilidad, para cada proceso analizado.
- No se observan tendencias claras relacionadas con la escala de las operaciones (gran minería vs mediana minería).
- Se han mantenido resultados similares a lo encontrado el año 2020. El proceso que muestra un mayor cambio es área húmeda, donde hay un alza tanto en los indicadores de disponibilidad como de utilización.

Por otro lado, respecto a los resultados del cálculo de la Productividad Total de Factores de la industria minera del cobre, resultan relevantes dos puntos:

- Durante el periodo analizado se observa una caída cercana a los 27 puntos porcentuales en la productividad de la industria.
- Se observan fuertes fluctuaciones los dos últimos años, con una fuerte alza el año 2020 producto en parte de la desmovilización que existió en la pandemia y a que la industria fue capaz de pese a esto, mantener la producción. Sin embargo, el año 2021 se observa una gran caída llegando a los niveles más bajos del indicador.

La importancia de mantener un permanente monitoreo de los principales indicadores de productividad (junto con una actualización periódica de la PTF) radica en que aún existe mucho espacio para mejorar la productividad del sector y recuperar los niveles perdidos tras el último superciclo. De este modo, mediante el monitorio de ésta es posible implementar las acciones necesarias para mantener la competitividad de la industria.

Finalmente, y como ya fue mencionado, dado que este informe se construye en base a datos reportados por las empresas, es necesario destacar la importancia de la colaboración de éstas en la entrega de datos de calidad que puedan ser efectivamente utilizados en el análisis, ya que incide enormemente en las conclusiones e inferencias. De este modo, ser un mayor aporte en el desarrollo de estudios y propuestas de políticas orientadas a mejoras en la productividad.

6. Anexos

Tabla 5: Muestra considerada en indicadores de productividad parcial del trabajo, año 2021.

Categoría	Empresa	Operación	Región
Gran minería	Anglo American Sur	El Soldado	V Valparaíso
Gran minería	Anglo American Sur	Los Bronces	RM Metropolitana
Gran minería	Capstonecopper	Mantos Blancos	II Antofagasta
Gran minería	Capstone Copper	Mantoverde	III Atacama
Gran minería	SCM Lumina Copper	Caserones	III Atacama
Gran minería	Codelco	Andina	V Valparaíso
Gran minería	Codelco	El Teniente	VI O'Higgins
Gran minería	Codelco	Radomiro Tomic	II Antofagasta
Gran minería	Cía. Minera Doña Ines de C.	Collahuasi	I Tarapacá
Gran minería	Freeport McMoran	El Abra	II Antofagasta
Gran minería	Codelco	Gabriela Mistral	II Antofagasta
Gran minería	Sierra Gorda SCM	Sierra Gorda	II Antofagasta
Gran minería	Teck Resources Chile	Carmen de Andacollo	IV Coquimbo
Gran minería	Codelco	Ministro Hales	II Antofagasta
Mediana minería	Cía. Minera La Patagua	La Patagua	V Valparaíso
Mediana minería	S. Contractual A. Kozan Ltda.	Atacama Kozan	III Atacama
Mediana minería	SCM Carola	Mina Carola	III Atacama
Mediana minería	CEMIN	Amalia Catemu	V Valparaíso
Mediana minería	Cía. Minera Cerro Negro	Mediana minería	V Valparaíso
Mediana minería	ENAMI	Planta Delta	IV Coquimbo
Mediana minería	ENAMI	Planta Osvaldo Martínez Carvajal	III Atacama
Mediana minería	ENAMI	P. Manuel Antonio Matta	III Atacama
Mediana minería	ENAMI	Planta José Antonio Moreno	II Antofagasta
Mediana minería	ENAMI	Planta Vallenar	III Atacama
Mediana minería	Minera HMC S.A	Michilla	II Antofagasta
Mediana minería	KGHM	Franke	II Antofagasta
Mediana minería	Minera Las Cenizas	Las Cenizas Cabildo	V Valparaíso
Mediana minería	Las Cenizas	Las Cenizas Taltal	II Antofagasta
Mediana minería	Minera Tres Valles SPA	Tres Valles	IV Coquimbo
Mediana minería	Pampa Camarones SPA	Salamanqueja	XV Arica y Parinacota
Mediana minería	Sociedad Punta del Cobre S.A	Pucobre	III Atacama
Mediana minería	Compañía Minera San Geronimo	Talcuna	IV Coquimbo
Mediana minería	Minera Valle Central SA	Valle Central	VI O'Higgins

Tabla 6: Muestra considerada en indicadores de productividad parcial del capital, año 2021.

Categoría	Empresa	Operación	Región
Gran minería	Antofagasta Minerals	Antucoya	II Antofagasta
Gran minería	Antofagasta Minerals	Los Pelambres	IV Coquimbo
Gran minería	Compañía Minera Zaldivar SPA	Zaldivar	II Antofagasta
Gran minería	Anglo American Sur	El Soldado	V Valparaíso
Gran minería	Anglo American Sur	Los Bronces	RM Metropolitana
Gran minería	Capstonecopper	Mantos Blancos	II Antofagasta
Gran minería	Capstone Copper	Mantoverde	III Atacama
Gran minería	SCM Lumina Copper	Caserones	III Atacama
Gran minería	BHP Billiton	Cerro Colorado	II Antofagasta
Gran minería	Codelco	Andina	V Valparaíso
Gran minería	Codelco	El Teniente	VI O'Higgins
Gran minería	Codelco	Radomiro Tomic	II Antofagasta
Gran minería	Cía. Minera Doña Ines de C.	Collahuasi	I Tarapacá
Gran minería	Freeport McMoran	El Abra	II Antofagasta
Gran minería	BHP Billiton	Escondida	II Antofagasta
Gran minería	Codelco	Gabriela Mistral	II Antofagasta
Gran minería	Glencore Chile	Lomas Bayas	II Antofagasta
Gran minería	Sierra Gorda SCM	Sierra Gorda	II Antofagasta
Gran minería	Lundin Mining	Candelaria	III Atacama
Gran minería	Lundin Mining	Ojos del Salado	III Atacama
Gran minería	BHP Billiton	Spence	II Antofagasta
Gran minería	Teck Resources Chile	Carmen de Andacollo	IV Coquimbo
Gran minería	Codelco	Chuquicamata	II Antofagasta
Gran minería	Teck Resources Chile	Quebrada Blanca	I Tarapacá
Gran minería	Codelco	Ministro Hales	II Antofagasta
Mediana minería	Grace SA	Mantos de la Luna	II Antofagasta
Mediana minería	Compañía Minera La Patagua	La Patagua	V Valparaíso
Mediana minería	S. Contractual A. Kozan Ltda.	Atacama Kozan	III Atacama
Mediana minería	SCM Carola	Mina Carola	III Atacama
Mediana minería	CEMIN	Amalia Catemu	V Valparaíso
Mediana minería	Cía. Minera Cerro Negro	Mediana minería	V Valparaíso
Mediana minería	ENAMI	Planta Osvaldo Martínez Carvajal	III Atacama
Mediana minería	ENAMI	P. Manuel Antonio Matta	III Atacama
Mediana minería	ENAMI	Planta José Antonio Moreno	II Antofagasta
Mediana minería	ENAMI	Planta Vallenar	III Atacama
Mediana minería	Minera HMC S.A	Michilla	II Antofagasta
Mediana minería	KGHM	Franke	II Antofagasta
Mediana minería	Minera Las Cenizas	Las Cenizas Cabildo	V Valparaíso
Mediana minería	Las Cenizas	Las Cenizas Taltal	II Antofagasta
Mediana minería	Minera Tres Valles SPA	Tres Valles	IV Coquimbo
Mediana minería	Pampa Camarones SPA	Salamanqueja	XV Arica y Parinacota
Mediana minería	Sociedad Punta del Cobre S.A	Pucobre	III Atacama
Mediana minería	Compañía Minera San Geronimo	Talcuna	IV Coquimbo
Mediana minería	Minera Valle Central SA	Valle Central	VI O'Higgins

7. Referencias

- COCHILCO (2014). Productividad en la industria minera en Chile.
- Comin, D. (2010). Total factor productivity. In Economic growth (pp. 260–263). Springer.
- Comisión Nacional de Productividad (2017). Productividad en la gran minería del cobre.
- de Solminihac, H., Badinella, C., Azúa, G., & Acuña, J. (2020). Productividad total de factores (ptf), productividad media laboral (pml) e índice de especialización local (iel) en la industria de la construcción de Chile.
- de Solminihac, H., Cerda, R., & Gonzales, L. (2014). Desarrollo y análisis de indicadores para el mejoramiento de la productividad en la minería en Chile.
- Lasserre, P. & Ouellette, P. (1988). On measuring and comparing total factor productivities in extractive and non-extractive sectors. Canadian Journal of Economics, (pp. 826–834).
- Rodríguez, X. A. & Arias, C. (2008). The effects of resource depletion on coal mining productivity. Energy Economics, 30(2), 397–408.
- Solow, R. M. (1957). Technical change and the aggregate production function. The review of Economics and Statistics, (pp. 312–320).
- Van Beveren, I. (2012). Total factor productivity estimation: A practical review. Journal of economic surveys, 26(1), 98–128.

Este trabajo fue elaborado en la
Dirección de Estudios y Políticas Públicas por:

Cintia Roa Cabello

Analista de Mercado Minero

Victor Garay Lucero

Director de Estudios y Políticas Públicas (S)

Diciembre 2022

