



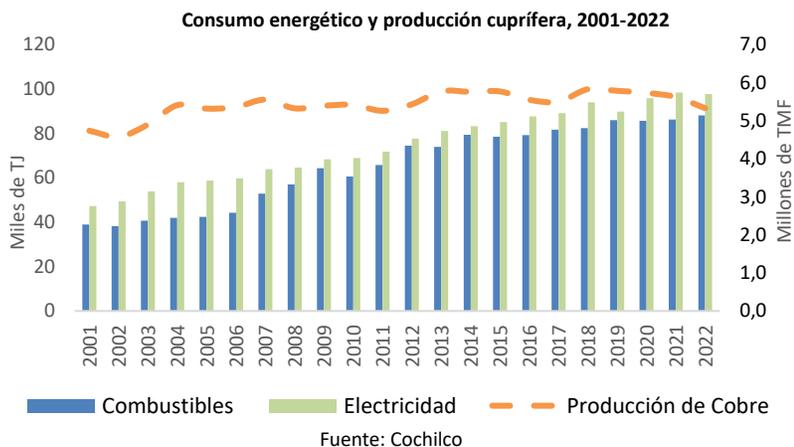
Informe de actualización del consumo energético de la minería del cobre al año 2022

DEPP N°11 /2023

Resumen Ejecutivo

El presente estudio se basa en los resultados de la Encuesta Minera de Producción, Agua y Energía (EMPAE), aplicada anualmente por Cochilco a las operaciones mineras de cobre del país. Considerando un total de 53 operaciones mineras, entre las que se encuentran gran y mediana minería, fundiciones y refinерías, en el año 2022 llegó al 99% de la producción de cobre nacional, específicamente 99,98% de la producción de cátodos electroobtenidos y 99,9% de la producción de concentrados.

Lo anterior corresponde a un porcentaje alto de cobertura, sin embargo es crucial que siga el compromiso del sector minero del cobre y poner énfasis en la calidad de los datos entregados, para poder seguir con esta línea de trabajo que transparenta y acerca a la ciudadanía la realidad energética del sector y su real impacto e importancia energética en el país.



Al 2022 la industria minera del cobre tuvo un consumo total de energía de 185.995 TJ, lo que representa alrededor del 15% del consumo agregado del país. De este total, 97.696 TJ son de la energía eléctrica y 88.100 TJ por consumo de combustibles. La Figura ilustra el consumo energético de electricidad (53% del total para 2022) y combustibles (47% del total para 2022) y la producción de cobre fino desde el 2001 al 2022.

Si bien a nivel general los consumos de electricidad y combustibles son relativamente similares, a nivel de procesos varían significativamente. Los tres más intensos en demanda energética son la mina rajo con 74.082 TJ que representa el 40% del consumo energético total, le sigue el proceso de concentración con 52.907 TJ (29%) y el proceso de Lixiviación con 23.744 TJ (13%). Para el caso del consumo de combustibles, la mina rajo se lleva el 79% del total de combustibles, seguido por fundiciones con un 7%. Para el consumo eléctrico en cambio, el proceso de concentradora es la fuerza dominante con un 52%, seguido de la electro-obtención con un 19%.

A nivel regional, Antofagasta es por lejos la región con mayor consumo energético tanto en combustibles (54 mil TJ, equivalente al 61 % del total de combustibles durante 2022) como en electricidad (56 mil TJ, equivalente al 57 % del total eléctrico). La región de Atacama por su parte cuenta con una participación del 10% del consumo energético total, las regiones de Coquimbo y Valparaíso en conjunto con el 12%, las regiones de O'Higgins y Metropolitana con el 15% y la región de Arica y Parinacota con un 6%.

En relación al consumo por tamaño, la gran minería privada del cobre fue responsable de alrededor dos tercios del consumo tanto de electricidad como de combustibles durante el año 2022, mientras que la gran minería estatal, representada por Codelco, representa el 28% de combustibles y 26% de

electricidad. La mediana minería privada por su parte es responsable del 3% de combustibles y 4% de electricidad respectivamente, en tanto la mediana minería estatal es responsable del 0,6% de combustibles y 1% de electricidad.

En cuanto a los gastos por energía, vemos que el consumo eléctrico constituye una mayor fuente de gasto con USD 2.570 millones frente a los USD 2.091 millones del costo asociado al consumo de combustible durante 2022. Los resultados de este trabajo evidencian que la minería del cobre continua enfrentando requerimientos energéticos crecientes, por temas estructurales como el envejecimiento de las minas, el endurecimiento de la roca, la caída de las leyes de cobre, como por temas productivos y la tendencia hacia la producción de concentrados y la mayor necesidad de agua lo que implica la construcción de plantas desalinizadoras y la impulsión de agua de mar (desalinizada o directa).

En relación a la integración de energías limpias, en el año 2022 el 67% de la demanda eléctrica total del sector minero es con suministro renovable, desglosando por tamaño de minería, Enami tiene un 100% de suministro eléctrico renovable, en tanto la gran minería un 85% la mediana minería un 55% y Codelco tiene una de sus operaciones con contrato de suministro renovable y este suministro representa el 13% de su consumo eléctrico total.

En términos de los alcances de la Ley de eficiencia energética en el sector minero, se tiene en el año 2022 la totalidad de las operaciones de la gran minería del cobre y Codelco están afectos a esta Ley y califican como consumidores con capacidad de gestión de energía, en tanto en mediana minería, en Enami solo 1 operación no califica y de la mediana minería privada solo 3 operaciones no califican. Es así como se puede decir que el 92% del sector minero del cobre está afecto a la Ley de eficiencia energética y califica como consumidores con capacidad de gestión de energía.

Por último en términos de electromovilidad en el sector minero del cobre, ésta ya ha empezado a implementarse en transporte liviano como iniciativa para reemplazar combustible, ejemplos de ello son el uso de taxis y buses eléctricos para el traslado de trabajadores y de equipos en zonas de operación. El 86% de las operaciones de la gran minería del cobre ya tiene planes de electromovilidad y/o transporte bajo en emisiones y en Codelco el 75% de sus operaciones, en tanto en mediana minería, el 50% de sus operaciones cuentan con avances en la materia y Enami aún no tiene planes de electromovilidad implementados.



Contenido

Resumen Ejecutivo	I
1. Introducción	4
2. Metodología	4
2.1. Información general y encuesta	5
2.2. Análisis de los datos.....	6
2.2.1. Combustibles:	7
2.2.2. Energía Eléctrica:.....	8
3. Consumo de energía de la minería del cobre a nivel nacional.....	9
3.1. Consumos totales	9
3.2. Consumos por procesos.....	10
3.3. Participación del consumo energético minero en el consumo nacional de energía.....	12
3.4. Consumos por región.....	12
3.5. Consumos por tamaño de minería	13
3.6. Consumos totales unitarios	14
4. Consumo de combustibles	15
4.1. Consumo agregado	16
4.2. Consumo por procesos	17
4.3. Consumos unitarios	18
5. Consumo eléctrico.....	20
5.1. Consumo agregado	20
5.2. Consumo por procesos	21
5.3. Autogeneración de energía eléctrica.....	23
5.4. Consumos unitarios	24
6. La minería del cobre dentro del contexto eléctrico nacional.....	26
6.1. Mercado eléctrico y sistema eléctrico nacional	27
6.2. Gasto energético en la minería del cobre.....	28
6.3. La transición energética nacional	31
6.3.1. Integración de energías renovables y sus desafíos.....	32
6.3.2. Eficiencia Energética	32
6.4. Acciones mineras en el camino de la transición energética.....	33
6.4.1. Integración de energías renovables en el 2022	33
6.4.2. Progresiva implementación de la Eficiencia Energética	35
6.4.3. Eficiencia energética en el 2022	36
7. Comentarios finales.....	37
8. Anexo: Operaciones consideradas	40



1. Introducción

Para el período que cubre el estudio, tanto los datos anuales de producción como los de uso de combustibles y electricidad la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO) los ha obtenido de las respectivas faenas mineras de cobre del país a través de una encuesta segmentada y específica, hoy llamada Encuesta Minera de Producción, Agua y Energía (EMPAE) que considera las áreas, etapas y procesos característicos para la producción de concentrados, cátodos, fundición y refinería. A través de este insumo, Cochilco calcula el consumo agregado e unitario de combustibles y energía eléctrica así como su evolución en el tiempo, desagregando además por tipo de procesos y zona geográfica, entre otros elementos. Esta información se publica en las *Estadísticas de consumo de energía del cobre*, disponibles en la página web <http://www.cochilco.cl/estadisticas/energia.asp>, y también se presenta a través del presente informe, cuyo objetivo consiste en analizar el consumo global de combustibles y electricidad incurridos por la minería del cobre, así como también revisar la evolución de sus consumos unitarios.

Para atender a estos objetivos, el informe en su sección 2 presenta la metodología usada, exponiendo el alcance de la encuesta y el tratamiento de los datos. Luego, en la sección 3, se muestran los datos agregados de consumo de energía a nivel nacional de la minería del cobre a nivel global y unitario. Así mismo, en la sección 4, se presentará un análisis de consumo de energía en base a combustibles por proceso y a nivel unitario, para luego en el capítulo siguiente, revisar de forma similar el comportamiento del consumo eléctrico. En la sección 6 se presentan estimaciones de los costos energéticos incurridos y finalmente en la sección 7 se entregan comentarios finales del informe.

2. Metodología

La metodología se puede sintetizar en tres partes:

- a) A través de la EMPAE, se consultan los niveles de producción, consumo de energía y agua por proceso minero.
- b) Se revisa la información recibida y se solicitan ajustes a las empresas en caso de existir discrepancias con otras fuentes de información o valores atípicos respecto de la información histórica.
- c) En base a la información suministrada por las operaciones mineras se calculan los consumos globales y unitarios de energía de electricidad y combustibles por procesos a nivel nacional. Los consumos totales se presentan en terajoules (TJ) y los consumos unitarios en megajoules por tonelada métrica (MJ/TM).



2.1. Información general y encuesta

Se identifican dos líneas de producción de cobre de acuerdo al mineral procesado. Primero, el procesamiento de minerales sulfurados, los cuales siguen una línea de producción de flotación y concentración. Por otro lado, los minerales oxidados, y sulfuros de baja ley, que siguen una línea de lixiviación o de hidrometalurgia para la obtención de cobre. Los principales procesos productivos de los minerales sulfurados son los de extracción mina, concentración, fundición y refinería. Por otro lado, las principales procesos involucrados en la extracción de cobre desde minerales oxidados son: extracción mina, lixiviación, extracción por solventes y electro-obtención. En la Figura 1, se muestran en cada una de las casillas el producto, y sus respectivas unidades, de cada uno de los procesos.

Figura 1: Procesos productivo de la minería del cobre

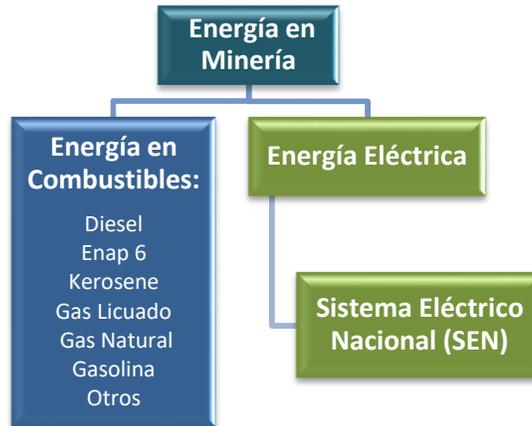


* Pregnant Leach Solution (PLS)

Fuente: Cochilco

Aunque no se ilustra en la Figura 1, se reconoce el proceso de Servicios, que como se indica en la terminología, corresponde a la suma de aquellas actividades que no se encuentran incluidas dentro de los procesos de la cadena de valor principal, pero que son necesarias para llevar a cabo la producción minera, tales como el consumo asociado a campamentos y talleres e impulsión y desalación de agua, entre otros. Las principales fuentes de abastecimiento energético de la minería son los combustibles y la electricidad. Cabe señalar, que el suministro de electricidad proviene ya del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), sistema que desde el 2017 comenzó a forjarse y es la unión de los dos principales sistemas que tenía el país, el Sistema Interconectado Central (SIC) y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING). En el presente informe se reconoce la energía utilizada en combustibles a través del uso de: Carbón, Gasolina, Diesel, Enap 6, Kerosene, Gas Licuado, Gas Natural, Leña, Butano y Escaid 110.

Figura 2: Tipo de energía utilizada en minería del cobre



Fuente: Cochilco

La información para determinar los consumos de energía se efectúan a través de EMPAE, encuesta que recoge información de producción de los principales procesos productivos, identificando los insumos minerales, así como también sus productos y sus principales características. Por ejemplo, en el caso de extracción mina, se reportan las cantidades de mineral y lastre extraído y sus respectivas leyes minerales; así también, en el caso de la concentración de mineral se consulta el mineral procesado y la cantidad de concentrado producido y sus respectivas leyes. Los diferentes procesos productivos se asocian a preguntas referentes a las cantidades de energía eléctrica consumida, cantidades de combustibles (en unidades físicas, por ejemplo m³ de diésel) y el agua total consumida y reciclada por procesos.

El año 2022 respondieron la encuesta un total de 53 operaciones mineras, entre las que se encuentran minas, fundiciones y refinerías, las que representan **99%** de la producción de cobre nacional de 2022, específicamente **95%** de la producción de cátodos electro obtenidos y **99%** de la producción de concentrados (véase el anexo para el listado completo de las operaciones). Lo anterior corresponde a un porcentaje alto de cobertura alcanzado desde la creación de la EMPAE, sin embargo es crucial que siga el compromiso del sector minero del cobre y poner énfasis en la calidad de los datos entregados, para poder seguir con esta línea de trabajo que transparenta y acerca a la ciudadanía la realidad energética del sector y su real impacto e importancia energética en el país.

2.2. Análisis de los datos

En el caso de los combustibles, primero se deben transformar las unidades físicas consumidas reportadas en la encuesta a unidades energéticas; en este caso, megajoule. Cada combustible reportado en las encuestas sobre el su consumo en las faenas mineras es transformado a unidades equivalentes energéticas considerando el estado del arte de la tecnología dentro de la industria minera y factor energético de los combustibles. Las conversiones se ilustran en la Tabla 1.

Tabla 1 Coeficientes de conversión de unidades físicas de combustibles a energía

Combustible	Unidad	Cantidad	Energía Útil en Megajoule (MJ)
Carbón	Kg	1	29
Gasolina	M3	1	34.208
Diesel	M3	1	38.309
Enap 6	t	1	43.932
Kerosene	M3	1	37.618
Gas Licuado	Kg	1	51
Gas Natural	M3	1	39
Leña	Kg	1	15
Butano	Lts	1	29
Nafta	M3	1	34
Propano	M3	1	26
Escaid 110	t	1	36.028

Fuente: Cochilco en base a información de conversión unidades de combustibles de la Agencia Chilena de sustentabilidad

A continuación se presentan los principales indicadores usados para el caso de consumos de energía a través de combustibles y de electricidad.

2.2.1. Combustibles:

La energía de combustibles a nivel nacional corresponde al total del consumo de las diferentes faenas consideradas en este informe, como se muestran en (3.1).

$$\text{Energía Combustibles} = \sum_i \text{Energía Combustibles consumida}_i \text{ (Petajoules)} \quad (3.1)$$

Donde i corresponde a la faena minera.

El consumo unitario de combustible medido como la energía usada en el procesamiento de una tonelada de cobre fino contenido por procesos por faena se calcula como: el consumo de combustibles transformado a unidades energéticas dividido por el cobre fino contenido en el producto de dicho proceso, como se muestra en (3.2). Para los cálculos de los consumos unitarios de combustible por tonelada de cobre fino a nivel nacional por proceso, se considera que los consumos unitarios por faena sean ponderados de acuerdo a su aporte de cobre fino al total nacional según el proceso en cuestión como se muestra en (3.3).

$$\text{Cons. Unit. de Comb. x Cu Fino}_{ij} = \frac{\text{Energía Combustible consumida}_{ij} \text{ (MJ)}}{\text{Cobre fino contenido en producto, proceso}_{ij} \text{ (TMF)}} \text{ (MJ/TMF)} \quad (3.2)$$

$$\text{Cons. Unit. de Comb. x Cu Fino} = \sum_{ij} \text{Cons. Unit. de Comb. x Cu Fino}_{ij} \times \frac{\text{Cu Fino en Producto}_{ij}}{\text{Cu Fino en Producto}_j} \text{ (MJ/TMF)} \quad (3.3)$$

Donde i corresponde a faena minera, mientras que j corresponde a los diferentes procesos productivos.



Para el caso de los consumos unitarios de energía en combustibles según el material procesado se efectúa primero el cálculo del consumo unitario por faena, tomando la energía en combustibles utilizada en los procesos dividido por el material total procesado, como se muestra en (3.4). Para efectuar el cálculo del consumo unitario de combustibles por material procesado a nivel nacional, los valores unitarios son ponderados de acuerdo a la participación del material procesado por faena sobre el total nacional procesado en un proceso específico como se muestra en (3.5).

$$\text{Cons. Unit. de Comb. x Material}_{ij} = \frac{\text{Energía Combustible consumida}_{ij} \text{ (MJ)}}{\text{Material procesado, proceso}_{ij} \text{ (Ton. métricas de material)}} \text{ (MJ/TM)} \quad (3.4)$$

$$\text{Cons. Unit. de Comb. x Material} = \sum_{ij} \text{Cons. Unit. de Comb. x Material}_{ij} \times \frac{\text{Material procesado}_{ij}}{\text{Material procesado}_j} \text{ (MJ/TM)} \quad (3.5)$$

Donde i corresponde a faena minera, mientras que j corresponde a los diferentes procesos productivos.

2.2.2. Energía Eléctrica:

La metodología utilizada para efectuar el cálculo de los indicadores de consumo de electricidad a nivel global y unitario se presentan en (3.6), (3.7), (3.8), (3.9) y (3.10), siguiendo la misma nomenclatura presentada anteriormente.

$$\text{Energía Electricidad} = \sum_i \text{Energía Eléctrica consumida}_i \text{ (Petajoules)} \quad (3.6)$$

$$\text{Cons. Unit. de Elec. x Cu Fino}_{ij} = \frac{\text{Energía Eléctrica consumida}_{ij} \text{ (MJ)}}{\text{Cobre fino contenido}_{ij} \text{ (TMF)}} \text{ (MJ/TMF)} \quad (3.7)$$

$$\text{Cons. Unit. de Elec. x Cu Fino} = \sum_{ij} \text{Cons. Unit. de Elec. x Cu Fino}_{ij} \times \frac{\text{Cu Fino en Producto}_{ij}}{\text{Cu Fino en Producto}_j} \text{ (MJ/TMF)} \quad (3.8)$$

$$\text{Cons. Unit. de Elec. x Material}_{ij} = \frac{\text{Energía Electricidad consumida}_{ij} \text{ (MJ)}}{\text{Material procesado, proceso}_{ij} \text{ (Ton. métricas de material)}} \text{ (MJ/TM)} \quad (3.9)$$

$$\text{Cons. Unit. de Elec. x Material} = \sum_{ij} \text{Cons. Unit. de Elec. x Material}_{ij} \times \frac{\text{Material procesado}_{ij}}{\text{Material procesado}_j} \text{ (MJ/TM)} \quad (3.10)$$

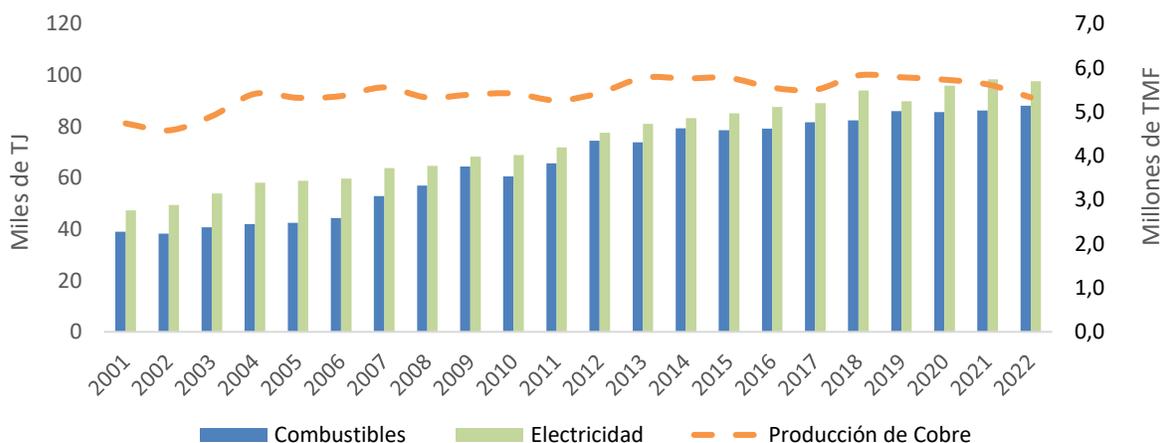
3. Consumo de energía de la minería del cobre a nivel nacional

En el presente capítulo se indican los resultados de los consumos energéticos estimados para la minería del cobre en Chile.

3.1. Consumos totales

Si bien la producción de cobre y el consumo energético son variables históricamente correlacionadas positivamente, en los últimos años se hace visible el desacople entre las mismas.

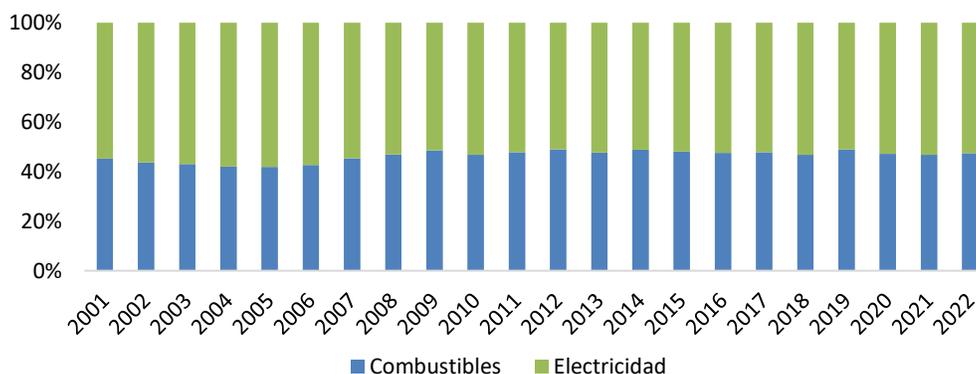
Figura 3 Consumos Totales de Energía de la Minería del Cobre vs Producción de Cobre Fino, 2001-2022



Fuente: Cochilco

Entre el 2001-2022 la producción nacional de cobre mina se presenta más bien estable, creciendo a una tasa promedio anual del 0,6%, llegando en el año 2022 a 5,33 millones de TM, lo que representa un aumento del 12,5% en el período analizado. En tanto el consumo energético de la minería, ha aumentado un 115,7% a una tasa promedio anual del 3,79%, llegando así a 185.995 TJ en el 2022 (Ver Figura 3). Comparando con el 2021, el consumo energético aumentó un 0,5 %, a su vez, la producción nacional de cobre mina disminuyó en 5,2%.

Figura 4 Participación según tipo de energía en el consumo total de energía de la minería del cobre, 2001-2022



Fuente: Cochilco



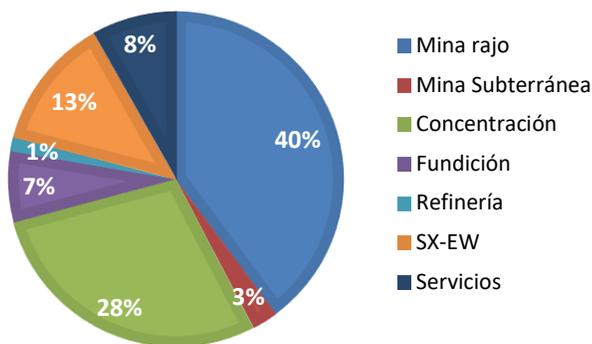
Al desglosar por tipo de energía entre el 2001-2022, como se muestra en Figura 4, el consumo de combustible aumenta en un 126,1%, en tanto el consumo de la electricidad aumenta en un 106,7% en el período.

La participación promedio en el período analizado para combustibles es del 46,4 % y 53,6 % en electricidad, en tanto para el año 2022 el consumo de combustibles logra una participación del 47,4% y la electricidad un 52,6 %.

3.2. Consumos por procesos

A nivel de consumo energético por procesos, los tres más intensos son la mina rajo con 74.082 TJ que representa el 39,9% del consumo energético total, le sigue el proceso de concentración con 52.907 TJ (28,5%) y el proceso de Lixiviación con 23.744TJ (12,8%).

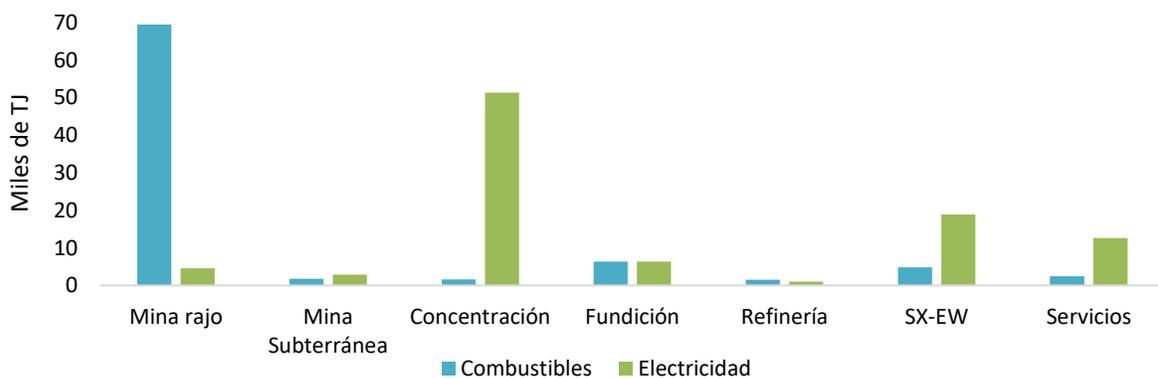
Figura 5 Participación en consumo de energía por proceso, 2022



Fuente: Cochilco

Desglosando por tipo de energía utilizada en cada proceso, el consumo de combustibles en la mina rajo se lleva el 78,9% del total de combustibles usados en minería, en cambio en el proceso de concentración y lixiviación la fuerza dominante es el consumo eléctrico el cual representa un 52,5% y 19,4% respectivamente del consumo total eléctrico minero en el 2022. La Figura 6 a continuación resume los consumos por proceso y tipo de energía para el año 2022.

Figura 6 Consumo de electricidad y combustibles por procesos en la minería del cobre, 2022

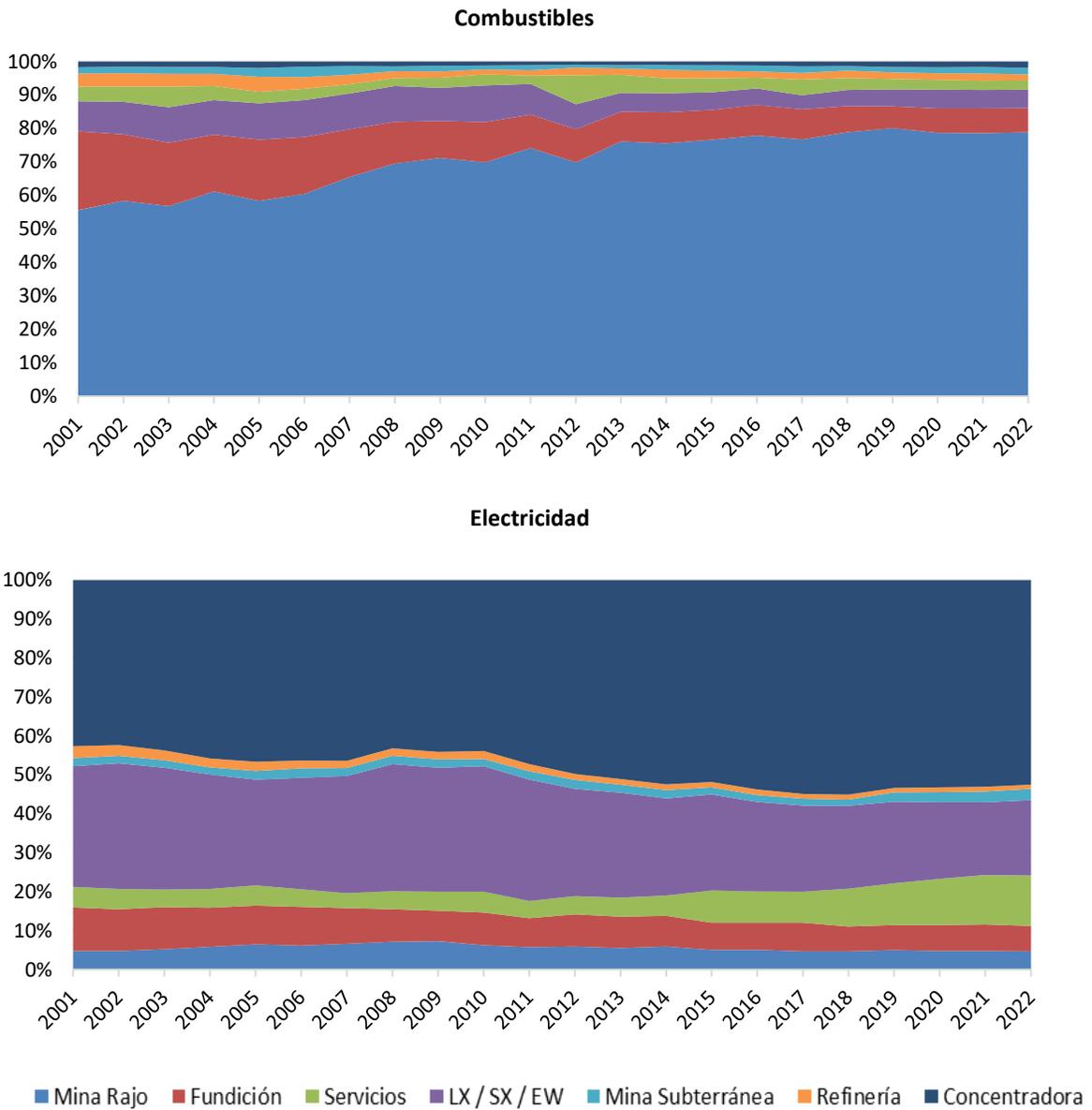


Fuente: Cochilco



Analizando la evolución entre el 2001 al 2022, visible en Figura 7 que ilustra la participación en el tiempo de los consumos de combustibles y electricidad por proceso, se advierte que ambos procesos dominantes en consumo, mina rajo en combustibles y concentradora en electricidad, se han vuelto progresivamente más intensivos en su uso, aún en relación a los otros procesos. Así, la participación del consumo de combustibles de mina rajo se incrementó desde un 55,6% del consumo agregado de combustibles en 2001 al 78,9% en 2022. Por el lado de la electricidad, la concentradora ha sido la principal fuerza demandante, pasando del 42,6% del total en 2001 al 52,5% en 2022.

Figura 7 Evolución en la participación (%) por proceso en el consumo de combustibles y electricidad, 2001-2022



Fuente: Cochilco



3.3. Participación del consumo energético minero en el consumo nacional de energía

La minería es uno de los principales consumidores de energía del país. En efecto, de acuerdo a los datos nacionales de consumo energético provistos por la Comisión Nacional de Energía, Cochilco estima que el sector minero en el 2021 es responsable del 15,1% del consumo energético del país, cifra que en general ha experimentado progresivas alzas marginales desde el 2006 en adelante (Ver Figura 8).

Figura 8 Participación del consumo sectorial de energía en el consumo nacional, 2006-2021



Fuente: Cochilco en base a datos propios y el Anuario Estadístico de Energía 2022 (Comisión Nacional de Energía, 2022)

Desagregando los datos, vemos que en el mismo periodo el consumo de electricidad se ha mantenido relativamente estable llegando a un 33,4% del total nacional en el 2021, mientras que el consumo de diésel, el principal combustible minero, ha ido aumentando su participación de un 11,5% en 2006 a un 20,8% del consumo nacional en el año 2021.

3.4. Consumos por región

Como se aprecia en la Tabla 2, Antofagasta (II) es por lejos la región con mayor consumo energético tanto en combustibles (54 mil TJ, equivalente al 60,9% del total de combustibles durante 2022) como en electricidad (56 mil TJ, equivalente al 57,1% del total de electricidad). El mayor consumo energético de Antofagasta viene dado por su alta producción de cobre (56,1% del total) pero también—como se señaló previamente— por las restricciones geográficas que enfrenta, en particular las restricciones de agua continental en el norte del país ha incentivado a muchas operaciones a ocupar agua de mar cuyo proceso de impulsión y desalación es altamente intensivo en energía eléctrica. Conjuntamente en 2022 ha habido un aumento en consumo de agua de mar en la Región respecto al 2021 con plantas operando a su total capacidad como la Planta Desaladora Coloso.

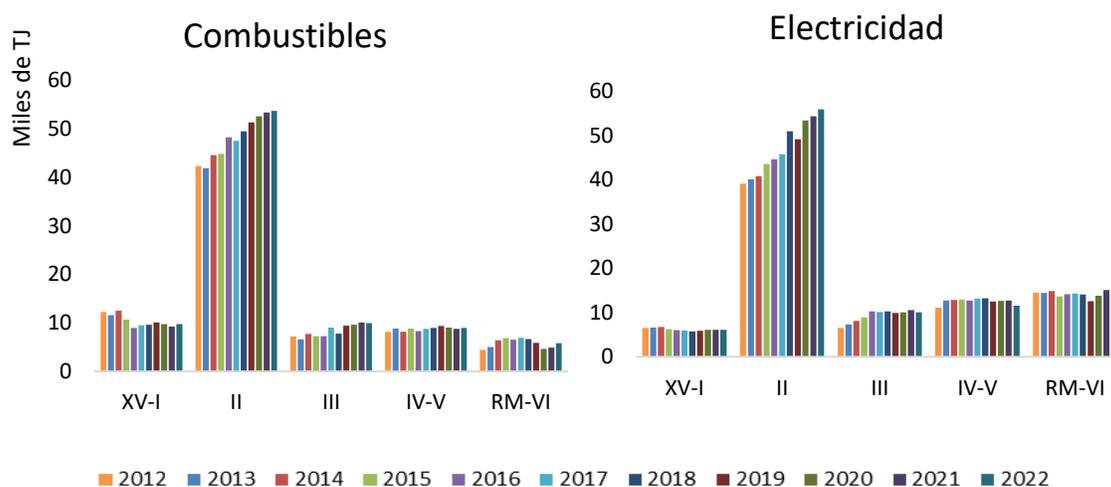
Tabla 2: Participación (%) del consumo de energía y producción de cobre por región, 2022

	XV-I	II	III	IV-V	RM-VI
Consumo electricidad	6,3	57,1	10,2	11,8	14,6
Consumo combustibles	11,1	60,9	11,3	10,2	6,6
Consumo total energía	8,5	58,9	10,7	11,0	10,8
Producción cobre	11,9	56,1	8,3	11,0	12,7

Fuente: Cochilco

En este contexto, el consumo energético total de Antofagasta ha estado en alza durante los últimos años, pasando de 81,4 mil TJ en 2012 a 109,5 mil TJ en 2022 (+34,5%). Atacama (III) también ha experimentado un alza en el mismo periodo, pasando de 13,7 mil TJ a 19,9 mil (+45,3%). Por otra parte, las regiones de Coquimbo y Valparaíso (IV y V) tuvieron un alza de 19,3 mil TJ a 20,5 mil TJ (+6,3%), mientras que las regiones Metropolitana y del Libertador Bernardo O'Higgins (RM y VI) se ha mantenido subiendo levemente de 18,9 mil TJ a 20,01 mil TJ (6,3%) en el mismo periodo. Al mismo tiempo, las regiones de Tarapacá y de Arica y Parinacota (I y XV) decrecieron, bajando de 18,7 mil TJ a 15,9 mil TJ (-15,3%).

Figura 9 Consumo de energía en la minería del cobre por región, 2012-2022

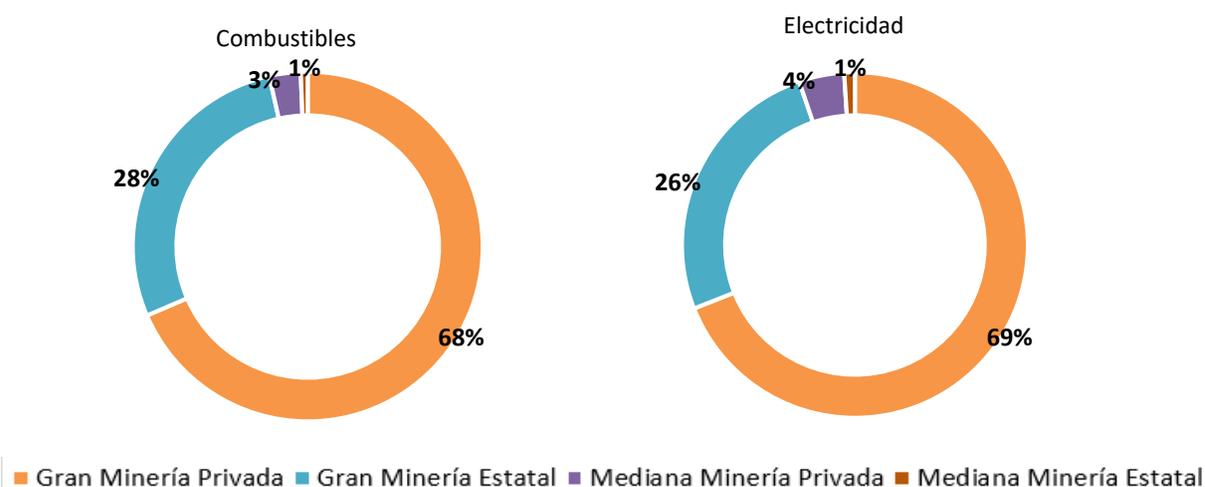


Fuente: Cochilco

3.5. Consumos por tamaño de minería

Como se aprecia en la Figura 10, la gran minería privada del cobre fue responsable de alrededor de dos tercios del consumo tanto de electricidad como de combustibles durante el año 2022. La gran minería estatal por su parte, representada por Codelco, concentró el 27,9% de combustibles y el 25,8% de electricidad, respectivamente. La mediana minería privada es responsable del 2,9% de combustibles y 4,2% de electricidad. Por último, la mediana minería estatal, representada por las plantas de Enami, consume 0,6% en combustibles y 1% de la electricidad.

Figura 10 Consumo de energía en la minería del cobre por tamaño, 2022



Fuente: Cochilco

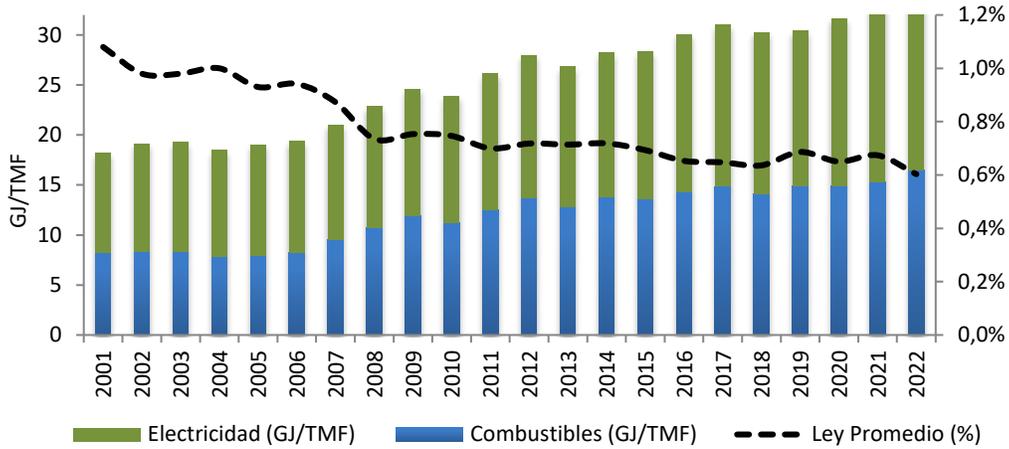
3.6. Consumos totales unitarios

El consumo unitario de energía es una medida útil para cuantificar la energía consumida para producir una unidad de producto (1 tonelada de cobre fino contenido) y permite analizar así la tendencia del consumo de energía en la producción minera. Es así como, para el año 2022 se necesitaron en promedio 34,9 GJ para producir una tonelada de cobre fino, un 91,5% más de lo que se necesitaba en 2001.

El consumo de combustibles es el mayor responsable de este incremento, pasando de 8,2 GJ/TMF en 2001 a 1654 GJ/TMF en 2022 (+101,0%), mientras que el consumo de electricidad aumentó de 10,0 GJ/TMF a 18,3 GJ/TMF (+83,7%) durante el mismo periodo. El consumo de combustibles para producir una tonelada de cobre fino ha tenido un mayor crecimiento principalmente a causa del consumo de combustibles en el transporte de mineral desde la mina rajo en minas de mayor antigüedad y profundidad y con cada vez mayores distancias de acarreo. El aumento sostenido del consumo eléctrico por su parte ha estado fundamentalmente determinado por cambios en la cartera de productos comerciales (de cátodos a concentrados) y cambios tecnológicos (como uso de agua de mar), que están indicando que el sector minería del cobre, en la segunda parte de esta década, está experimentando un aumento en la intensidad de uso de electricidad.

Al mismo tiempo, las leyes de mineral son indudablemente una variable crucial en la determinación de los requerimientos de energía dado que una importante parte de los aumentos de consumo son destinados a suplir menor productividad por bajas de ley sostenidas en el tiempo. La Figura 11 ilustra la relación inversa entre la evolución del consumo unitario de energía y la ley promedio anual del mineral desde el 2001 al 2022.

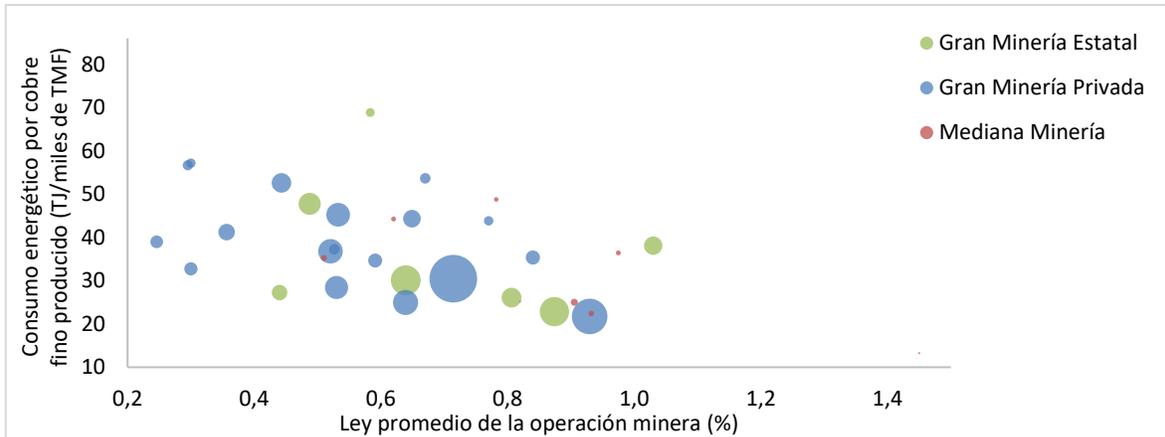
Figura 11 Evolución del consumo unitario de energía y leyes a nivel nacional, 2001-2022



Fuente: Cochilco

Otra forma de describir esta relación inversa es a través de los coeficientes de consumo energético por cobre fino producido versus las leyes promedio por operación minera al año 2022, como se ilustra en la Figura 12. Como se puede apreciar, las operaciones mineras con mejores leyes de explotación de mineral en general tienen menores niveles de consumo energético por producción de cobre, lo que respalda la incidencia de la ley del mineral en los requerimientos de energía.

Figura 12 Consumo energético por cobre fino producido versus ley promedio del mineral por operación minera, 2022



Nota: Los tamaños de las circunferencias se grafican según el nivel de producción de cobre fino equivalente durante 2022

Fuente: Cochilco

4. Consumo de combustibles

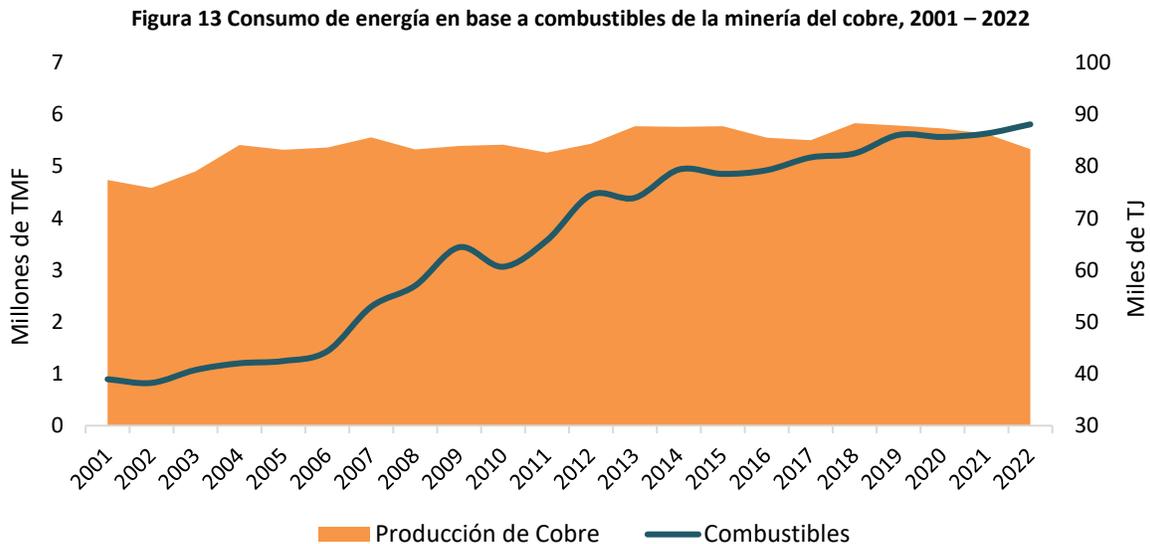
En esta sección se muestra información referente a la evolución interanual de energía en base a combustibles, el total de energía en combustibles por procesos y el consumo unitario de combustibles por cobre fino y por material procesado.



4.1. Consumo agregado

La Figura 13 presenta la evolución del consumo de energía en base a combustibles de la minería del cobre para el período 2001-2022. Durante el año 2022 alcanzó los 88.100 TJ, registrando así un leve aumento del 2,1% respecto al 2021, y comparado con el 2001 se registró un aumento del 126,1%.

Este crecimiento sostenido en el consumo de combustibles obedece a una producción que en general tiende al alza junto a cambios estructurales que enfrenta la minería del cobre en particular en la fase de explotación, en mina rajo.

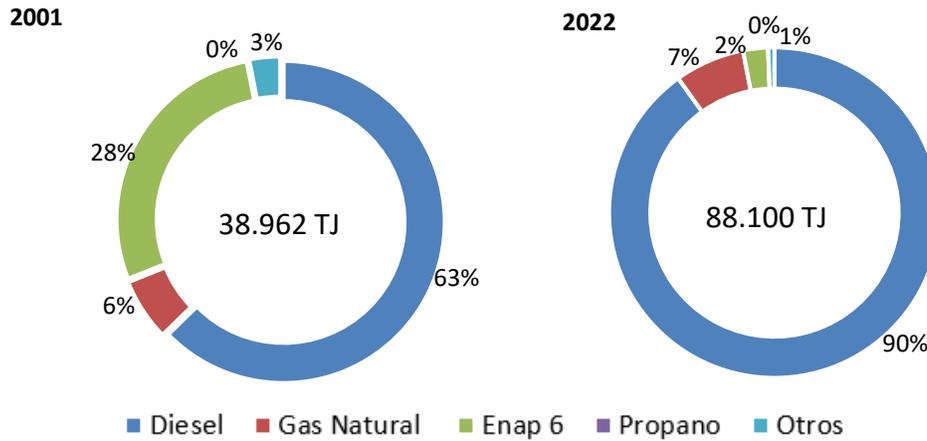


Fuente: Cochilco

La Figura 14, presenta los cambios de la matriz de combustibles usados en la minería del cobre, y el mayor peso relativo que el diésel (90,1% del total durante 2022 versus un 63% en 2001) ha ganado conforme evolucionan las operaciones mineras. Cabe señalar que también se ha visto un incremento en consumo diésel debido al consumo en transporte para disposición de relaves y algunas mineras están en ejecutando la construcción de muros de relaves.

En paralelo, otros combustibles han ido perdiendo progresivamente su usabilidad, destacando el caso del Enap 6. Dicho combustible en el año 2001 representaba un 27,9% de la cartera de combustibles consumidos, pero para el año 2022 solo representó un 2,4% del total sectorial. Lo anterior se debe en gran medida a la normativa ambiental en calidad del aire existente a nivel nacional, la cual impone límites de emisiones de material particulado y humos visibles en los hornos de refinado, lo que ha conducido a reemplazar Enap 6 por gas natural, como también la sustitución de quemadores convencionales por otros de alta eficiencia que consumen menos combustibles.

Figura 14 Participación de combustibles en el consumo total de combustibles, 2001 y 2022

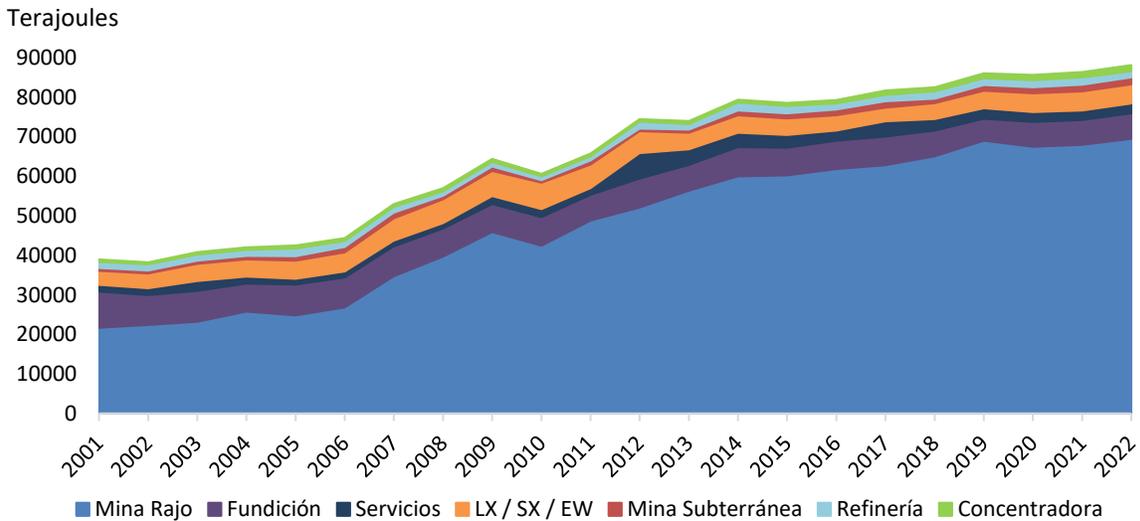


Fuente: Cochilco

4.2. Consumo por procesos

Como se observa en Figura 15, el proceso que mayor combustible demanda es la mina rajo (78,9% del total de combustibles usados en minería) y al ver su evolución desde el 2001, el consumo de combustible se ha triplicado prácticamente de 21.664 TJ en 2001 a 69.481 TJ en 2022.

Figura 15 Evolución en el consumo de combustibles por proceso, 2001 – 2022



Fuente: Cochilco

Esto se explica por una lado por el incremento del 12,5 % de la producción de cobre entre 2001-2022 lo que conlleva un mayor procesamiento de mineral y por otro lado debido a temas estructurales que enfrenta la minería como el decrecimiento en las leyes de las minas lo que involucra una mayor cantidad de mineral a transportar y con ello una mayor cantidad de camiones de extracción para sostener un volumen de producción, y también se debe al envejecimiento de los



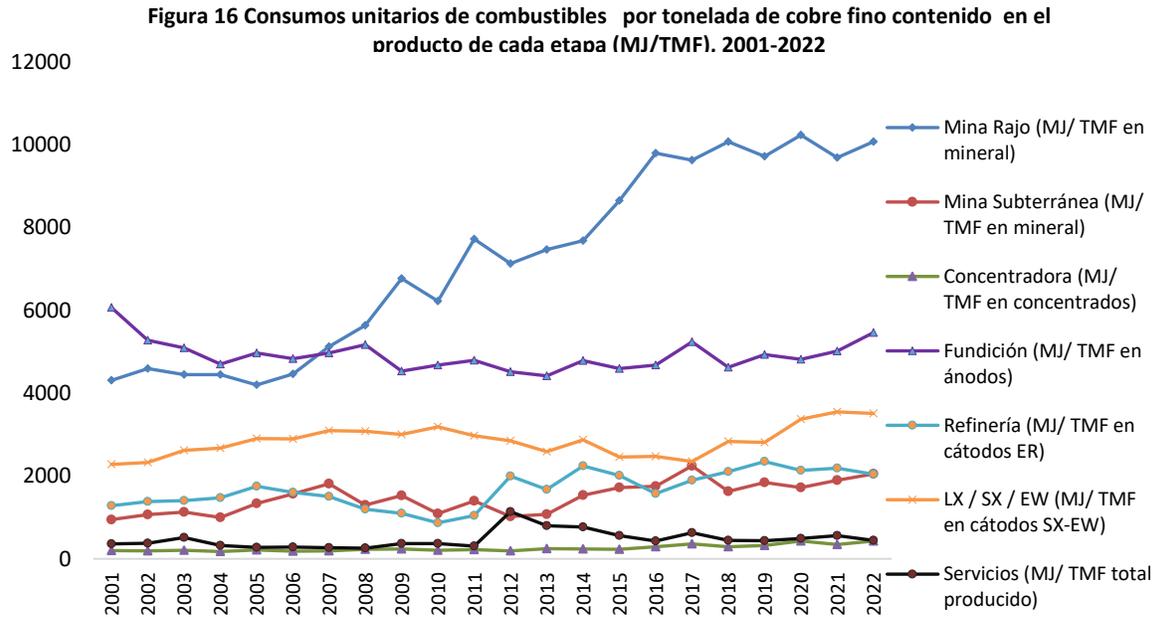
yacimientos, lo que implica, mayor profundidad de excavación y por tanto mayores distancias de acarreo del mineral desde su extracción hasta su procesamiento.

A su vez, el consumo de combustibles en Fundición, la segunda fuente más importante de demanda de combustibles que representa un 7,2% del total de combustibles usados en minería el 2022, disminuyó en un 30,6% entre el 2001 al 2022 en tanto su nivel de procesamiento se redujo en un 26,0% en igual período.

Por otra parte, el consumo de combustibles en los demás procesos se ha mantenido con participaciones anuales inferiores al 6 % en cada proceso.

4.3. Consumos unitarios

Por otra parte, la Figura 16 ilustra los consumos unitarios de combustibles por tonelada de cobre fino contenido en el producto de cada etapa. Se destaca el proceso de mina rajo, proceso ha crecido en prácticamente todos los años, pasando de 4.308 MJ/TMF en 2001 a 10.069 en 2022 (+133,7%), evidenciando el impacto de las disminuciones en las leyes de mineral. En los demás procesos, los consumos unitarios de combustibles se han mantenido más bien estables durante los últimos 20 años, observándose si al proceso de Fundición que ha disminuido un poco de 6.064 a 5.459 MJ/TMF (- 10,0%) entre 2001-2022.

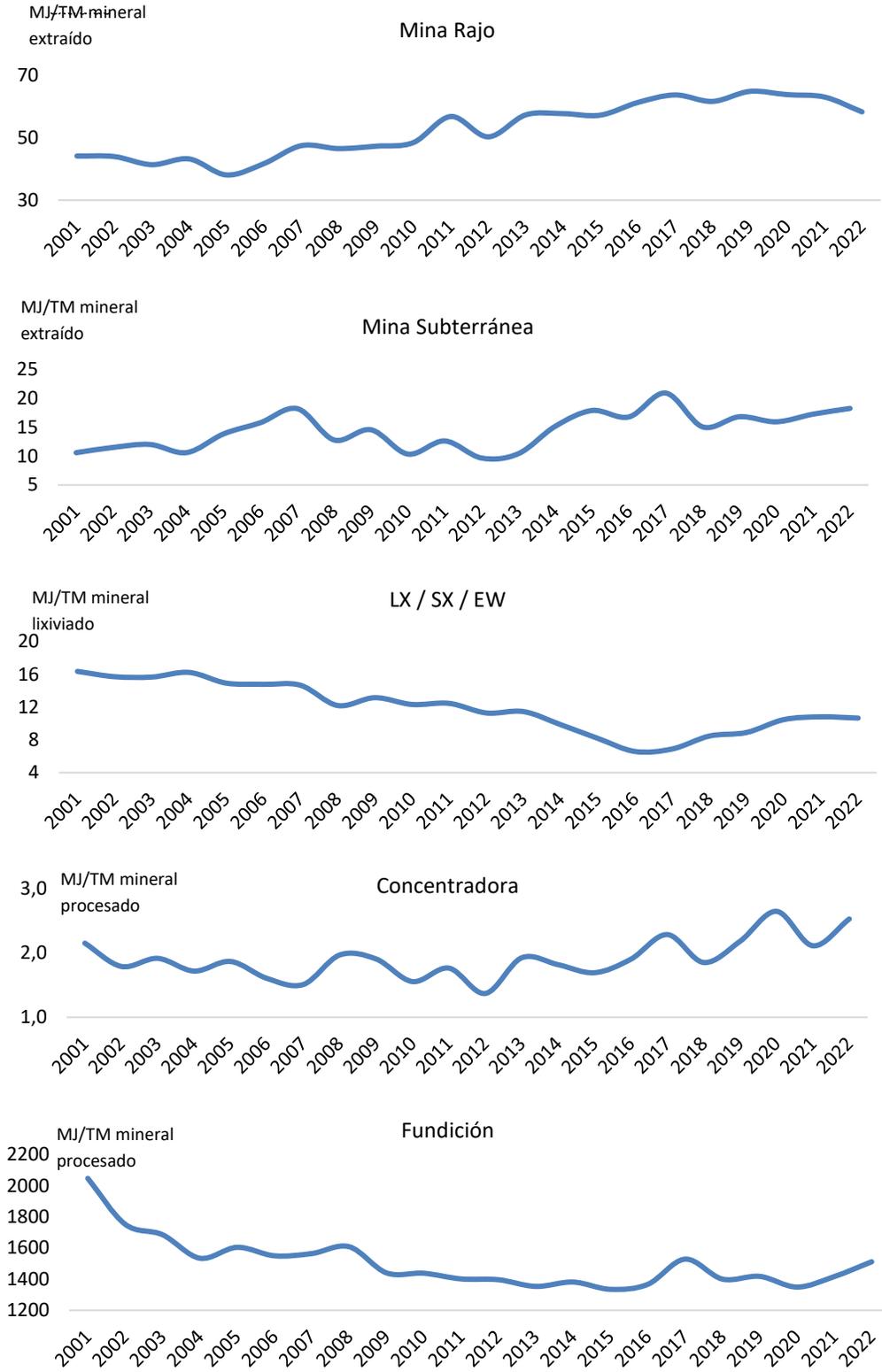


Fuente: Cochilco

Al analizar el uso de combustible en la mina rajo respecto del mineral extraído (Figura 17), el promedio ponderado país se incrementa en 32,1% entre el 2001 al 2022 de 44,2 MJ a 58,4 MJ por tonelada de mineral extraído.



Figura 17 Consumos unitarios de combustibles por tonelada de material procesado, 2001-2022



Fuente: Cochilco



Esto se debe, por una parte, a que las leyes promedio de los minerales extraídos han disminuido con los años, lo que hace que para obtener la misma cantidad de fino sea necesario extraer más mineral. Por otro lado, si se toma en cuenta que a principios de la década del 2000 entraron en operación diferentes minas rajo abierto, y estas a medida que han avanzado su explotación, lo mismo que las más antiguas, sus distancias y pendientes de acarreo, tanto de los minerales como de los materiales estériles van aumentando, con el consiguiente aumento de consumo de combustibles.

En Figura 17 también destaca, en la Fundición que tiene consumos unitarios de combustible por tonelada de concentrado procesado bastante altos, estos han ido decreciendo en el tiempo, producto de los cambios tecnológicos (detención de hornos reverbero y la utilización de equipos de fusión autógenos (que queman el azufre)) que las fundiciones han debido instalar para dar cumplimiento a las normas ambientales de calidad del aire, teniendo así una disminución entre el 2001 al 2022 del 26,1%, de 2.046 a 1.511 MJ/TM concentrado procesado, por otro lado en el proceso de Lixiviación ha disminuido de 16 a 11 MJ/ TM mineral lixiviado (-34,8%), lo que es indicativo de mejoras operacionales o de gestión.

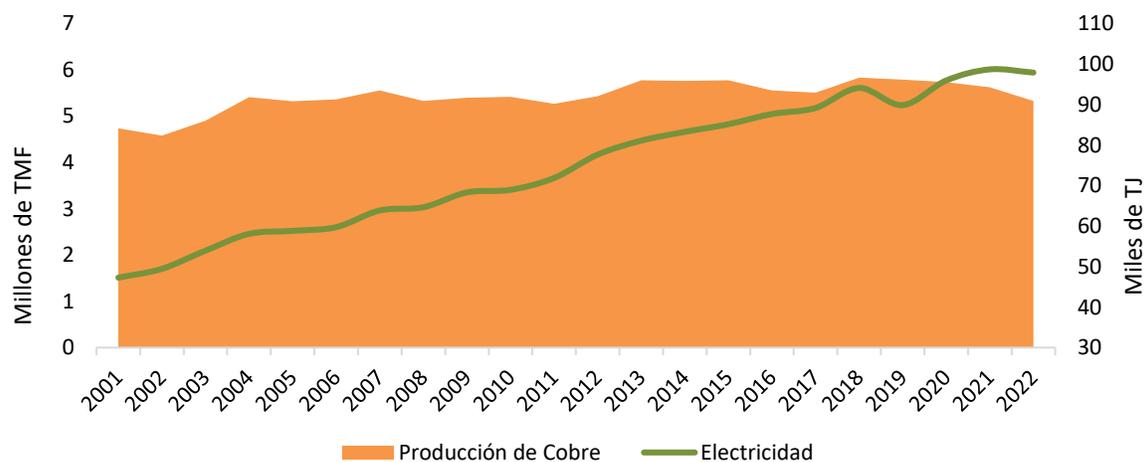
5. Consumo eléctrico

En esta sección se analiza el consumo y variación anual del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre a nivel global, por procesos, consumo unitario de electricidad por tonelada de cobre y el consumo unitario de electricidad por tonelada de mineral tratado según proceso.

5.1. Consumo agregado

El año 2022 la minería del cobre consumió un total de 97.895 TJ en energía eléctrica, manteniéndose respecto al 2021 registrando sólo una leve disminución del 0,8 %, y comparado con el 2001 se registró un aumento del 107,1% como se puede observar en la Figura 18.

Figura 18 Consumo de energía eléctrica en la minería del cobre, 2001-2022



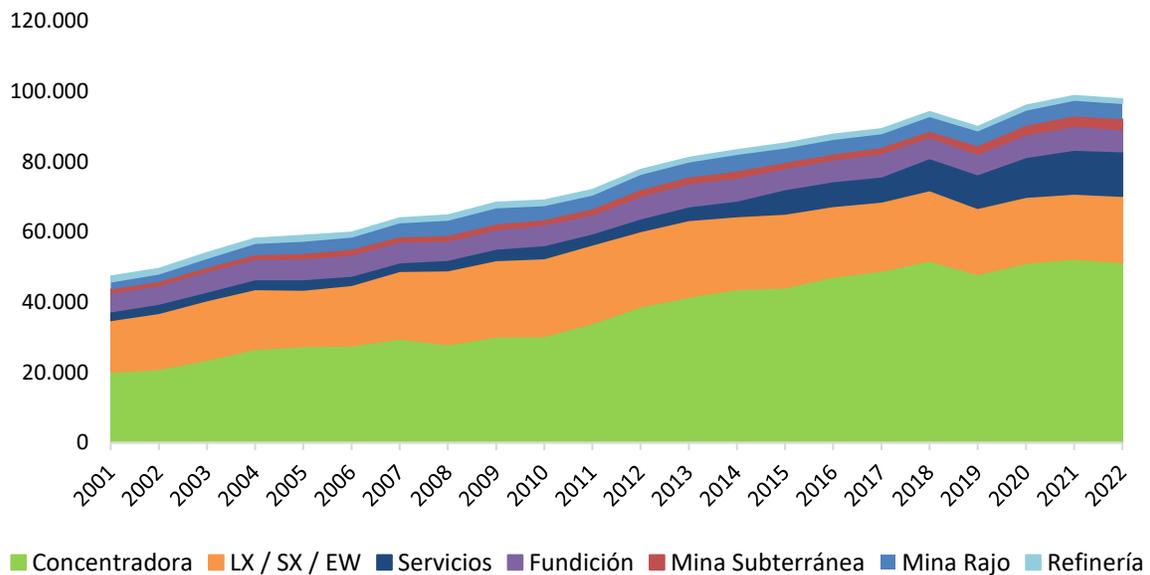
Fuente: Cochilco

El aumento del consumo eléctrico, viene dado principalmente por el aumento de capacidad de procesamiento de concentración a nivel nacional y del aumento del consumo eléctrico de los sistemas de impulsión y desalación de agua de mar a las faenas.

5.2. Consumo por procesos

Como se puede ver en la Figura 19, la concentradora ha sido la principal fuerza demandante, pasando de 20.141 TJ (42,6% del total de consumo electricidad de la minería) en 2001 a 51.294 TJ (52,4% del total) en 2022. Por otra parte, el consumo eléctrico en lixiviación, la segunda mayor fuente de consumo eléctrico, si bien ha aumentado su consumo eléctricos en términos absolutos de 14.679 TJ en 2001 a 18.906 TJ en 2022, decreció en su participación desde el 31,0% al 19,3% en igual período.

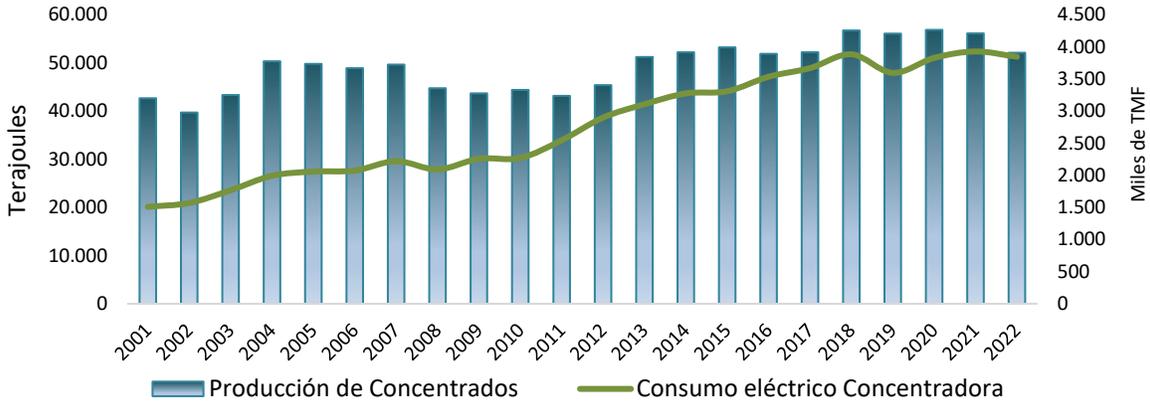
Figura 19 Evolución en el consumo de electricidad por proceso, 2001 – 2022



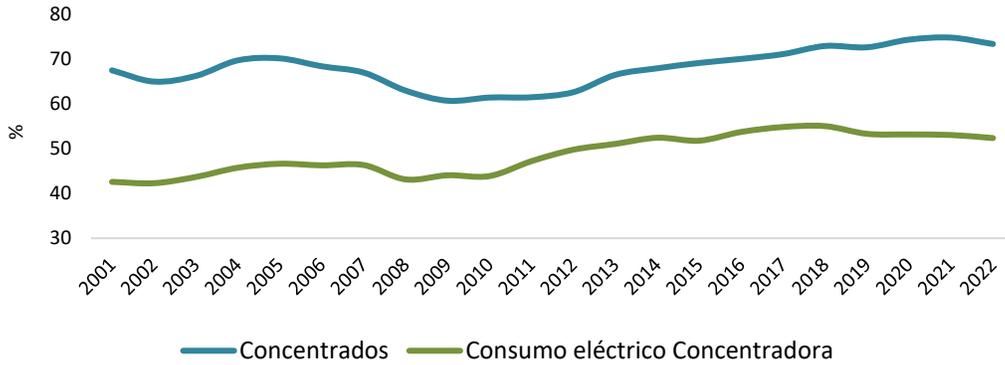
Fuente: Cochilco

En Figura 20 se puede observar el aumento en un 31,5% en la producción de concentrados entre el 2001-2022 pasando del 67,5% de la producción cuprífera nacional al 73,4% en el mismo periodo, lo cual incide directamente en un mayor consumo de electricidad señalado anteriormente.

Figura 20 Producción de concentrados y consumo eléctrico en Concentradora en la minería del cobre, 2001 – 2022



Concentrados y consumo eléctrico en Concentradora como proporción de la producción total y del consumo eléctrico total respectivamente

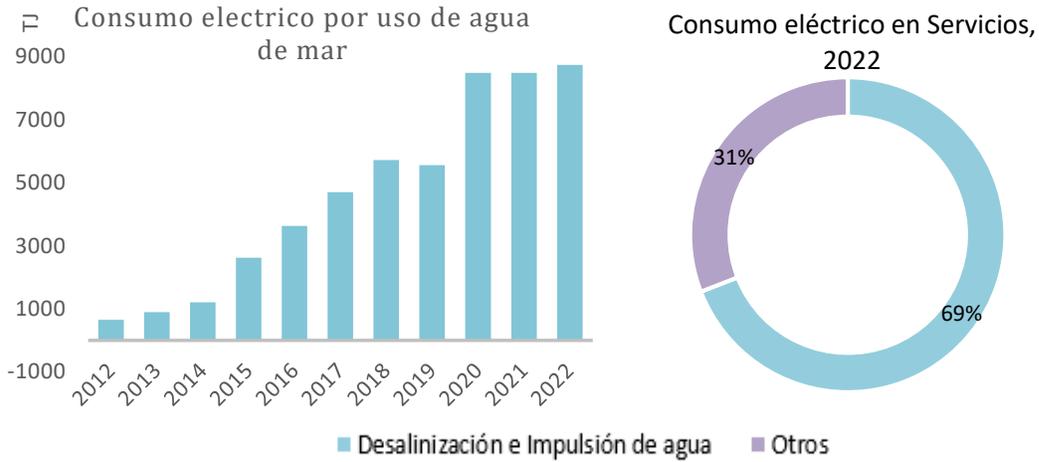


Fuente: Cochilco

El otro proceso que ha ido intensificando su demanda de electricidad es el de Servicios y que ha crecido un 408,4% entre el 2001 al 2022, cabe señalar que en esta etapa está incluido desalación e impulsión de agua (desalinizada o directa de mar). Es así como, dada las restricciones de agua continental en el norte del país, el proceso que ha crecido rápidamente en su uso de electricidad es el de la desalación e impulsión de agua de mar a las faenas mineras y que en el año 2022 fue de un total de 6152 lts/s con algunas de las plantas ahora operando a su total capacidad como Planta coloso de Escondida. En efecto, como se advierte en la Figura 21, este crecimiento del consumo de energía eléctrica para impulsión y desalación de agua en la minería del cobre prácticamente se ha multiplicado 11,7 veces en los últimos 10 años, desde 658 TJ en 2012 a 8.740 TJ en 2022, lo que equivale al 69% del consumo eléctrico en Servicios y al 8,9% del consumo eléctrico total de la minería en 2022.



Figura 21 Desalinización e impulsión de agua de mar, 2012-2022



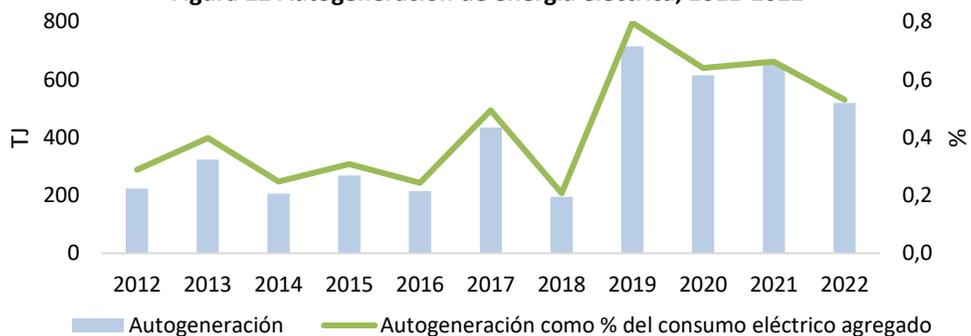
Fuente: Cochilco

El crecimiento reciente evidencia una solución ante las cada vez mayores restricciones de agua continental que afecta a gran parte del territorio minero nacional. Lo anterior hace necesario un análisis más profundo por parte de la autoridad tanto en materia de políticas públicas y planes de desarrollo de estos sistemas, pues se deben alinear e incluir elementos como el suministro eléctrico, la disposición de terrenos interiores para los ductos de impulsión y borde costero para las plantas de desalación, y asimismo en un manejo integrado de cuencas que permita evaluar ambientalmente la sumatoria de plantas desadoras por zona, y como herramienta de planificación.

5.3. Autogeneración de energía eléctrica

A raíz de una demanda energética creciente, algunas empresas han recurrido a su propia autogeneración, sea a través de sus propias plantas generadoras de energía eléctrica en base a diésel, mediante plantas de Energías Renovables No-Convencionales (ERNC) o bien a través del reaprovechamiento energético en sus procesos productivos como en el caso de minera los pelambres que utiliza una cinta transportadora de minerales que produce su propia electricidad. Con todo, como se aprecia en la Figura 22, se estima que la autogeneración alcanzó en 2022 los 519 TJ, equivalentes al 0,5% del consumo eléctrico total en la minería del cobre. Desde el 2012 la autogeneración de electricidad ha ido creciendo y ya al 2022 se ha duplicado.

Figura 22 Autogeneración de energía eléctrica, 2012-2022



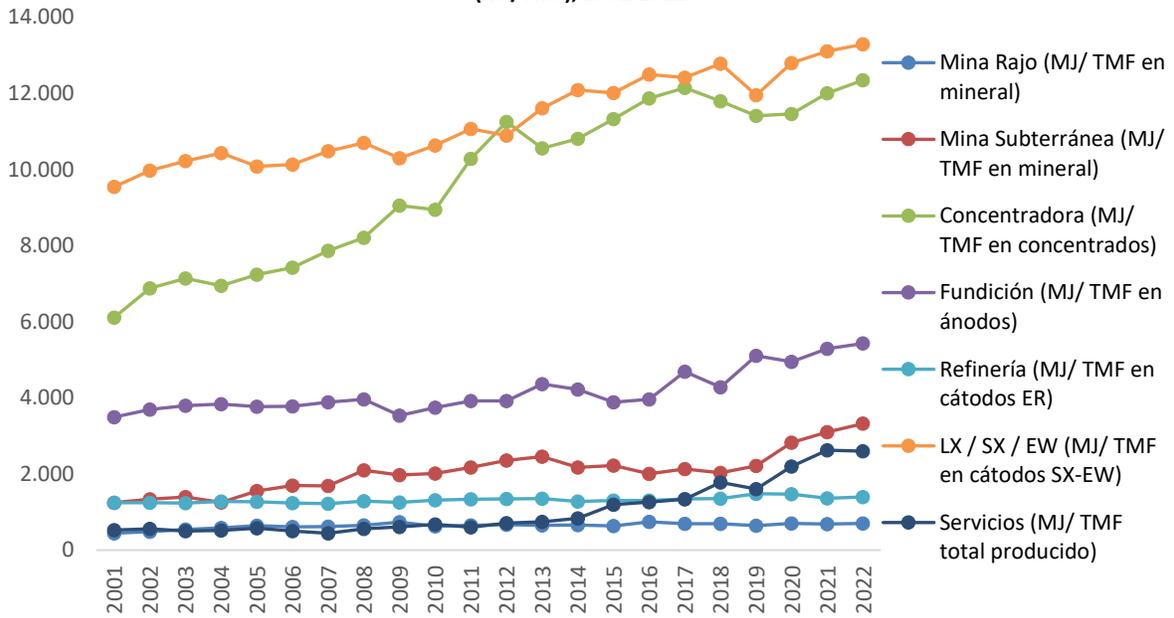
Fuente: Cochilco



5.4. Consumos unitarios

La Figura 22 presenta los consumos unitarios de electricidad por tonelada de cobre fino contenido en el producto de cada etapa. Destaca en primer lugar el progresivo incremento del consumo unitario de energía eléctrica en el proceso de Concentradora, que ha crecido de 6.112 a 12.346TJ/cobre fino contenido, lo que representa un aumento del 100,2% en el periodo 2001 – 2022. La concentradora es una etapa del proceso de producción de cobre altamente consumidora de energía eléctrica, la que se destina especialmente a las operaciones de chancado y molienda del mineral. Con el envejecimiento de las minas, los yacimientos se hacen más profundos y la roca se endurece, lo cual incide directamente en el proceso de conminución y se necesite más electricidad que antes para este subproceso.

Figura 23 Consumo unitario de electricidad por tonelada de cobre fino contenido en el producto de cada etapa (MJ/TMF), 2001-2022

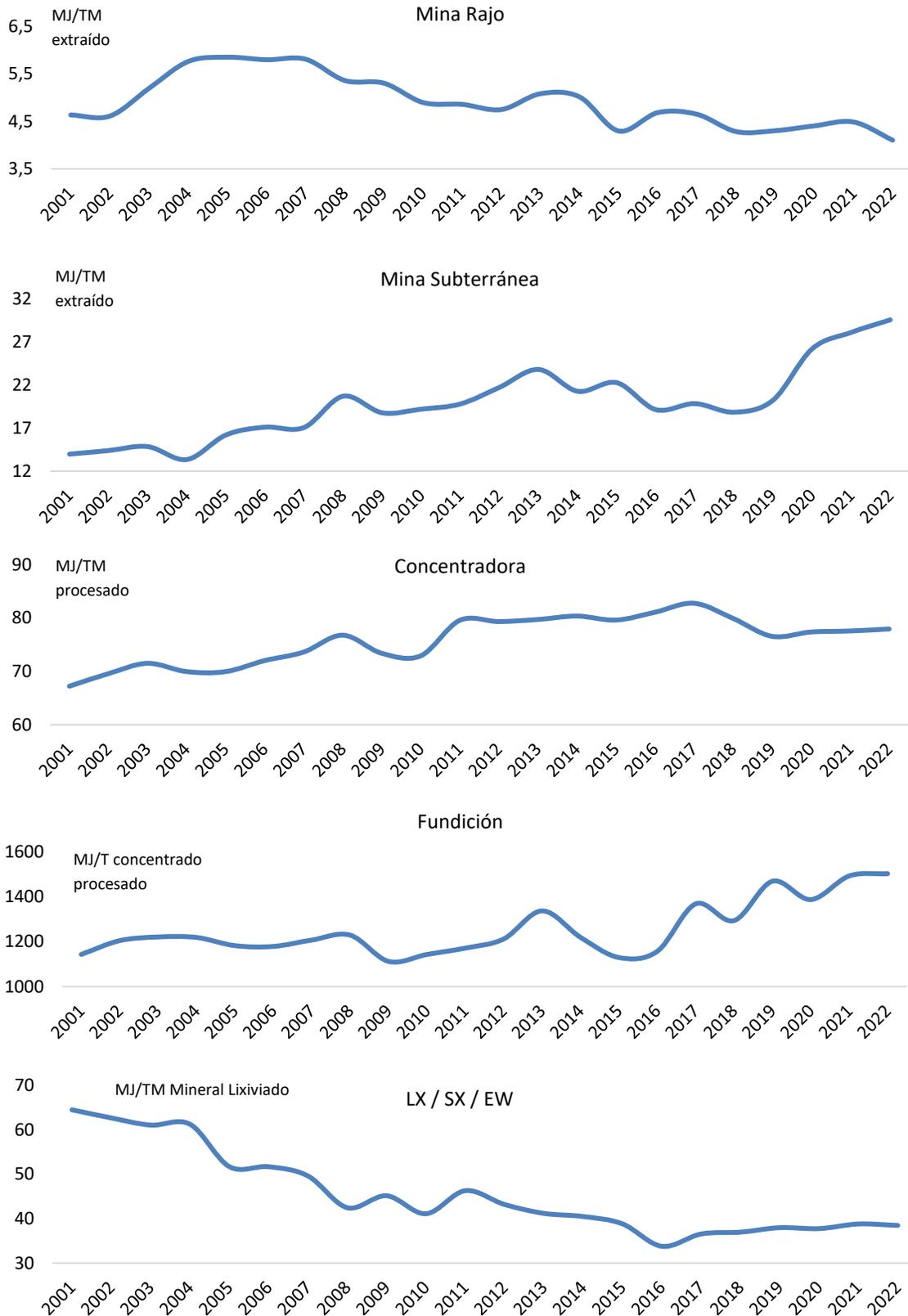


Fuente: Cochilco

Otro proceso que ha experimentado alzas constantes en su consumo unitario de electricidad ha sido el de LX-SX-EW, de 9.542 a 13.290 TJ/ cobre fino contenido, lo que representa un aumento del 39,3% desde el 2001. El proceso Servicios se ha cuatriplicado, este aumento se debe principalmente al uso de plantas desalinizadoras e impulsión del agua de mar (directa o desalinizada) Ver Figura 23, en tanto Fundición creció un 55,4 % debido fundamentalmente a la implementación de normativa de calidad del aire lo que ha significado que las fundiciones deban instalar sistemas de captación y manejo de gases, así como plantas de ácido sulfúrico, con el consiguiente incremento en el consumo de energía eléctrica. Además, varias fundiciones llevaron a cabo proyectos de modernización en el período analizado, que han involucrado la instalación de sistemas de transporte e inyección de concentrado seco, como también la instalación de hornos eléctricos para el tratamiento pirometalúrgico de las escorias.



Figura 24 Consumo unitario de electricidad por tonelada de mineral extraído/procesado (MJ/TM), 2001-2022



Fuente: Cochilco

Al ver en Figura 24 el proceso de concentración en su consumo de electricidad por tonelada de mineral procesado en los últimos 20 años, este se ha mantenido estable, si con incrementos en la mayoría de los años, aunque con mayor moderación que en su consumo unitario por cobre fino contenido, acumulando al 2022 un alza de 15,9%, teniendo en la primera década del 2000 un promedio de 71,7 MJ/T Concentrado Procesado y en la última década de 79,3 MJ/T Concentrado Procesado. Otro proceso que ha crecido entre el 2001 al 2022 es la mina subterránea en un 111,6% llegando a 29,6 MJ/Tonelada de mineral extraído, este consumo unitarios de electricidad es por lo menos 6 veces más que la mina rajo, ello se debe fundamentalmente a que la minería subterránea requiere más electricidad para el uso intensivo de aire comprimido y servicios de ventilación. En paralelo, el consumo unitario del proceso de LX-SX-EW, ha caído un 40,3 % en el período 2001-2022 principalmente a causa de una extracción de mineral que crece a una tasa más rápida que el consumo eléctrico asociado a lixiviación y electro-obtención de cátodos, cuya producción se ha mantenido relativamente estable en el tiempo.

Cabe señalar que en año 2022, se incrementó el consumo de energía eléctrica y sus consumos unitarios en la mina subterránea como se observa en Figuras 22 y 23 en los últimos dos años, ello evidencia el impacto de la aparición de una nueva operación con este método de extracción como lo es Chuquicamata Subterránea.

Si bien hoy la producción de cobre en Chile se extrae mayoritariamente de operaciones a rajo abierto, el envejecimiento natural de las minas conlleva a un mayor consumo de combustibles en el transporte del mineral a procesar, lo que implica mayores costos y también mayores emisiones de gases de efecto invernadero, es así como en el largo plazo podría llegar un punto de inflexión en que el método de extracción por rajo no sea rentable de seguir profundizando y ampliando el rajo, entonces en caso de tener el yacimiento reservas de mineral en profundidad podría pasar a un método extracción subterránea si ello es viable técnica y económicamente. La minería subterránea, es un proceso que se caracteriza por una extracción más selectivo sin lastre que puede reducir los volúmenes de material extraído y que es más intenso en el consumo de electricidad en su extracción.

Los valores de los demás procesos se mantienen en general estables en el tiempo, lo que demuestra que en el período no se han producido mayores cambios en fundiciones y en las refinerías electrolíticas que operan en el país, todas las cuales utilizan tecnología convencional y las diferencias entre ellas se deben a las distintas densidades de corriente que utilizan y al tamaño de los cátodos.

6. La minería del cobre dentro del contexto eléctrico nacional

Como se puede observar en capítulos anteriores, las necesidades energéticas del sector minero del cobre han ido aumentando principalmente por temas estructurales que enfrenta la minería y a futuro se estima, dada una creciente producción esperada y a que estos temas estructurales se acentúen, que los consumos energéticos mineros aumenten en la próxima década y



consecuentemente, se incrementen las emisiones de gases de efecto invernadero del sector. Ineludiblemente el sector minero del cobre para seguir desarrollándose y de manera sustentable, necesita que el país cuente con una infraestructura necesaria para satisfacer la demanda energética esperada de manera segura, a precios competitivos y con fuentes de suministro limpias o con bajas emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero.

Para un mejor entendimiento del contexto eléctrico nacional en que se desarrolla la minería del cobre chilena, a continuación, se describen algunos de los elementos principales que componen el sistema eléctrico nacional y de la coyuntura actual en materia energética nacional y acciones que ha realizado el sector minero del cobre estar alineados con los esfuerzos del país y poder tener un consumo energético sustentable.

6.1. Mercado eléctrico y sistema eléctrico nacional

El mercado eléctrico en Chile, desde el lado de la oferta de energía, está compuesto por tres sectores que permiten la disposición de la energía eléctrica:

- **Generación:** sector que tiene como función la producción de la energía eléctrica a través de distintas tecnologías tales como la hidroeléctrica, termoeléctrica, eólica, solar, entre otras.
- **Transmisión:** sector que tiene como función la transmisión, en niveles altos de voltaje, la energía producida a todos los puntos del sistema eléctrico.
- **Distribución:** sector que tiene como función el distribuir, en niveles de voltaje más reducidos que los de Transmisión, la energía desde un cierto punto del sistema eléctrico a los consumidores regulados que este sector atiende.

Estas actividades son desarrolladas por completo por empresas privadas, las que realizan las inversiones necesarias dentro de la normativa específica que rige para cada uno de estos sectores. Así, los sectores de transmisión y distribución se desarrollan dentro de un esquema de sectores regulados, por la característica de monopolio que tienen ambos sectores, mientras que Generación lo hace bajo reglas de libre competencia. Dentro de las características de los sistemas eléctricos en el territorio nacional hoy, está que el mercado eléctrico chileno está compuesto por tres sistemas independientes: el Sistema Eléctrico Nacional (SEN, que cubre desde Arica por el norte, hasta la isla de Chiloé por el sur), el Sistema de Aysén (SEA, que cubre la Región de Aysén del General Carlos Ibañez del Campo), y el Sistema de Magallanes (SEM, que cubre la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena).

La minería del cobre chilena, ubicada en el norte y centro sur del país se abastece del SEN. Este nace en el año 2017, a partir de la unión de los dos principales sistemas de energía en el país: el Sistema Interconectado Norte Grande (SING) y el Sistema Interconectado Central (SIC) y ya en pleno funcionamiento desde el año 2018. Este sistema está conformado por un conjunto de instalaciones de centrales eléctricas generadoras, líneas de transporte, subestaciones eléctricas y líneas de distribución, interconectadas entre sí, que permite generar, transportar y distribuir energía eléctrica, cuya capacidad instalada de generación sea igual o superior a 200 Megawatt, todo ello dirigido ahora por un solo organismo, el Coordinador Eléctrico Nacional.



Con la creación del sistema interconectado el país ha podido optimizar el uso de los recursos de generación ya disponibles y a su vez ha dado flexibilidad a la matriz nacional para integrar un mayor porcentaje de energías más limpias y con menor emisión de gases de efecto invernadero como las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) por ejemplo la eólica, solar, que tienen un alto potencial en el norte del país, pero presentan características disímiles en cuanto a su patrón de generación, aprovechando así el actual gran desarrollo tecnológico de estas energías y de su almacenamiento, así como la disminución de sus costos en los últimos años (haciéndolas más convenientes que algunas energías convencionales). Es así como la creación del SEN ha permitido avanzar hacia una mayor seguridad en el abastecimiento de electricidad nacional a sus clientes dentro de ellos el sector minero y está suministrando energía de forma más eficiente y sustentable que décadas anteriores.

No obstante, el avance logrado en tener una matriz eléctrica sustentable, también el sistema presenta desafíos, ya hoy más evidentes, como el poder integrar toda la energía renovable que se está generando y se generará, entre otros importantes retos. Por tanto se sigue y debe seguir trabajando para optimizar el SEN.

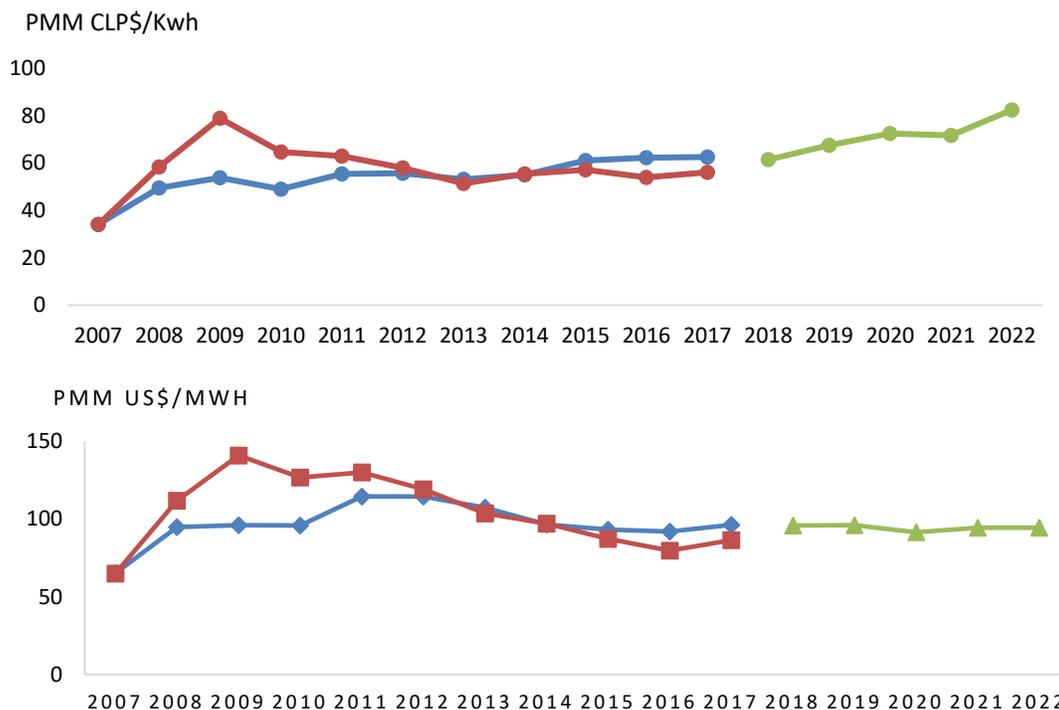
6.2. Gasto energético en la minería del cobre

Una vez determinados los consumos energéticos en electricidad y combustibles, podemos estimar los costos incurridos en base a los precios de mercado. Para el caso del consumo eléctrico, empleamos los Precios Medios de Mercado (PMM) del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) a partir de su funcionamiento a fines del 2017. Para el caso del consumo de combustibles, ocupamos los precios internacionales de los hidrocarburos. Cabe señalar que todos los costos y precios han sido ajustados por el Índice de Precios de Producción (IPP) minera al año 2022 a fin de hacer comparables los valores en el tiempo.

El Precio Medio nominal de Mercado (PMM) se determina considerando los precios medios de los contratos de clientes libres y suministro de largo plazo de las empresas distribuidoras, según corresponda, informados a la Comisión Nacional de Energía por las empresas generadoras del Sistema Eléctrico Nacional, respectivamente. El PMM año 2022 es de 82,4 \$/KWh, valor nominal que es un 15,0 % mayor que el 2021 y que se ha ido incrementando en los últimos 4 años siendo el 2022 un 34,3 % más que el 2018.



Figura 25 Evolución del precio medio nominal de mercado de sistemas SIC, SINGy SEN en \$/kWh y USD/MWh



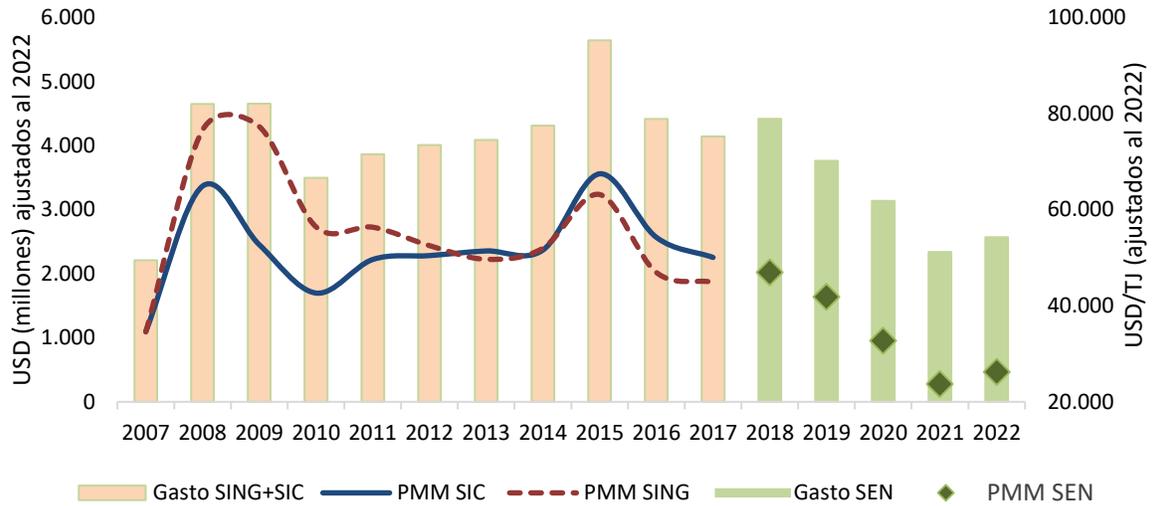
Fuente: Anuario 2022 de la Comisión Nacional de Energía

Para calcular el gasto por concepto de electricidad en minería del cobre se utiliza el PMM de los sistemas eléctricos nacionales en dólares por terajoule, utilizando la tasa de cambio de pesos a dólar promedio del año y usando IPP minería para ajustar a valor 2022.

Es así como figura 26 muestra que en el 2022 el PMM del SEN es de 26.248 USD/TJ y el gasto en electricidad minero ese año es de 2.589 millones USD. Al analizar la evolución en el tiempo del gasto en electricidad, se puede observar una disminución sostenida de este desde el funcionamiento del SEN en 2018 al 2021 de un 47,1% y aumentó un 9,9% entre el 2021 – 2022.



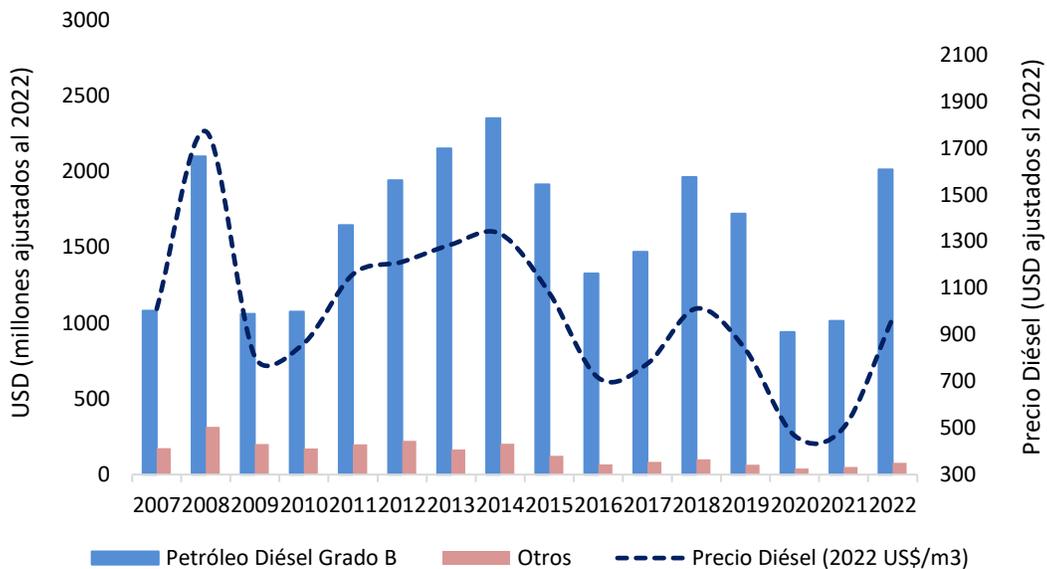
Figura 26 Gasto agregado en electricidad de la minería del cobre, 2007-2022



Fuente: Cochilco en base a datos propios y de la Comisión Nacional de Energía

Por otra parte, en relación al gasto en combustibles, vemos de la Figura 27 que, en concordancia con un uso creciente del diésel en la minería cuprífera nacional, su gasto como proporción del consumo total de combustibles también ha aumentado, pasando de un 86,1% en 2007 a un 96,2% en 2022. Es decir, prácticamente la totalidad del gasto energético en combustibles reside específicamente en diésel, situación que provoca que los costos energéticos sean altamente dependientes de los precios internacionales del hidrocarburo.

Figura 27 Gasto agregado en combustibles de la minería del cobre, 2007-2022

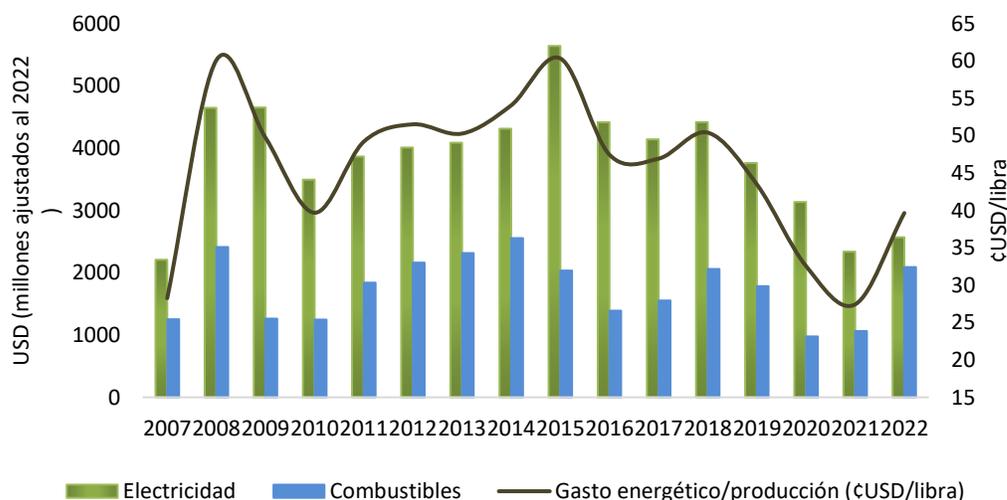


Fuente: Cochilco en base a datos propios y de la Comisión Nacional de Energía



Ahora bien, integrando las dos fuentes de gasto energético, electricidad y combustibles, vemos de la Figura 28 que el consumo eléctrico produce un gasto con USD 2.570 millones frente a los USD 2.091 millones del costo asociado al consumo de combustible durante el año 2022, es decir un 23% mayor. Al mismo tiempo, el gasto energético por libra de cobre producida llegó a las ¢USD 39,7 un 21,3% menos en relación a los ¢USD 50,4 de 2018, debido a la reducción de los costos tanto de electricidad y combustibles.

Figura 28 Gasto energético agregado de la minería del cobre, 2007-2022



Fuente: Cochilco en base a datos propios y de la Comisión Nacional de Energía

De lo anterior se puede desprender además el gasto en electricidad por TJ es mayor que en combustibles. En efecto, dado que los consumos agregados de combustibles y energía medidos en TJ son relativamente similares, tenemos que el gasto promedio por TJ en combustibles alcanza los \$20,7 millones, mientras que el gasto promedio por TJ en electricidad llegó a los \$22,9 millones.

6.3. La transición energética nacional

En Chile y el mundo para hacer frente al cambio climático, se ha posicionado como herramienta principal a la transición energética, que es el cambio de un sistema energético que se basa en combustibles fósiles, a uno de bajas emisiones o sin emisiones de carbono que esté basado en fuentes energéticas renovables.

El país ha establecido por Ley la carbono neutralidad y para ello ha decidido construir una transición energética que además de asegurar el suministro, da prioridad a mitigar el cambio climático aprovechando las excelentes condiciones para el funcionamiento de energías renovables, fomentando su incorporación, impulsando la descarbonización, estableciendo criterios de uso eficiente de la energía, dentro de un mercado energético estable con un marco regulatorio que ha logrado trascender a los gobiernos convirtiéndose en políticas de Estado, con énfasis en que esta transición sea justa y sustentable con consenso social y sobre la importancia de llevar todos los esfuerzos para una pronta transición energética.

6.3.1. Integración de energías renovables y sus desafíos

Un resultado concreto de la transformación energética que Chile ha decidido realizar, se observa en el importante aumento de la generación renovable en la matriz energética chilena en los últimos años, llegando a un 55,6 % de generación renovable en 2022. El mayor aumento lo han tenido las tecnologías solar fotovoltaicas y eólica, que han aumentado drásticamente pasando en conjunto de un 0,8% en 2013 a un 28% en 2022¹ (ACERA, 2023).

Ahora bien, no obstante los importantes avances que ha tenido Chile en el camino hacia la transición energética, hoy ante el abrupto ingreso de las energías renovables no convencionales y el comparativamente lento crecimiento en líneas de transmisión, actualmente se evidencian importantes desafíos para lograr la total transición y una carbono neutralidad al 2050. Entre los principales desafíos están:

- Falta de flexibilidad del sistema
- Mejorar uso de infraestructura existente
- Mejorar fallas detectadas de infraestructura u otras, además de tratar de solucionar congestión en sistema de transmisión, que hacen que no pueda ingresar energía renovable generada hoy
- Disminuir el extenso desfase entre la construcción de nuevas obras y redes de transmisión en relación al abrupto desarrollo y petición de ingreso de generadoras de energías renovables no convencionales
- Aumentar capacidad de almacenamiento ante intermitencia actual de las energías renovables no convencionales (ERNC)
- Mejorar la planificación territorial y que esta sea proactiva
- Mejorar tiempos de tramitación de permisos para desarrollar proyectos de energía, transmisión, almacenamiento

Por tanto, Chile debe aún seguir trabajando fuertemente para lograr la meta de tener una matriz energética descarbonizada, sustentable y que además sea eficiente.

6.3.2. Eficiencia Energética

La Eficiencia energética en Chile es considerado uno de los factores relevantes, para la carbono neutralidad que el país se comprometió alcanzar al 2050. En febrero de 2021, se publicó en el Diario Oficial la Ley N° 21.305 sobre Eficiencia Energética que promueve el uso racional y eficiente de la energía, conjuntamente con institucionalizar la eficiencia energética y promover la activa gestión energética de grandes consumidores entre otras materias. También contempla la elaboración de

¹ <https://generadoras.cl/generacion-electrica-en-chile>



un Plan Nacional de Eficiencia Energética cada 5 años, con metas de reducción de intensidad energética.

El 2022 entró en vigencia el Reglamento sobre Gestión Energética de los organismos públicos y de los grandes consumidores de energía (empresas con consumos de energía para uso final sobre 50 tera-calorías (58 GWh) anuales, que se denominan consumidores con capacidad de gestión de energía (CCGE).

Las empresas que califiquen como CCGE están obligadas a implementar uno o más sistemas de gestión de energía (SGE) que cubran, al menos, un 80% de su consumo energético total, e incluyan políticas, metas, planes de acción e indicadores de desempeño energético, designar un gestor energético y tener sistemas de medición y verificación. Estos sistemas de gestión serán controlados mediante auditorías que deberán ser contratadas cada tres años por las empresas calificadas como CCGE, las que además deberán enviar anualmente a la autoridad un informe de sus consumos de energía e información sobre las oportunidades y acciones de eficiencia energética realizadas y proyectadas. Por otro lado, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles será la encargada de la fiscalización de esta Ley.

6.4. Acciones mineras en el camino de la transición energética

Se podría decir que la minería del cobre tiene un doble rol dentro de la transición energética. Por un lado como activador del uso de energías limpias en el país y por otro proveyendo una materia prima que es componente importante en el funcionamiento de tecnologías limpias como la fotovoltaica, eólica, electromovilidad por mencionar algunas.

La industria minera del cobre, importante cliente energético ha sido un actor clave en fomentar la incorporación de energías renovables sin emisiones en la matriz energética; que ha mostrado acciones concretas de estar comprometido con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero; y que ha ido incorporando además la eficiencia energética. Estos componentes, tanto la reducción de emisiones como la eficiencia energética, son claves en lograr una transición energética.

6.4.1. Integración de energías renovables en el 2022

En el contexto mundial y nacional de lograr la carbono neutralidad, la minería del cobre chilena se ha comprometido públicamente en reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en la próxima década aportando y estando alineados con los esfuerzos del país para lograr esta ambiciosa meta. Es así como, en el contexto de: a) El gran avance en el desarrollo de las energías renovables y de tecnologías para su almacenamiento; b) Que estas energías han ido disminuyendo su costo en los últimos años (haciéndolas más convenientes que algunas energías convencionales); c) Que el país a su vez ha liderado una revolución energética en los últimos años, que ha hecho posible avanzar en mejoras significativas para un escenario energético más eficiente y sustentable, aprovechando el gran potencial del país para la generación de energías renovables y hacer posible



la integración actual y futura de esta energía limpia a la matriz energética nacional; Ha habido y se estima habrá un creciente uso de las energías renovables en el sector minero chileno.

La minería del cobre ha realizado esfuerzos por usar energías renovables, integrando estas energías a las operaciones mineras de distinta forma: a) Uso Directo de energías renovables en algún proceso (ejemplo calentamiento soluciones en lixiviación), mediante un proyecto de energías renovables desarrollado por la propia minera para su abastecimiento; b) A través de contratos PPA (Power Purchase Agreements) en los que la minera ha participado en la inversión del proyecto de energías renovables; c) A través de contratos PPA en los que la minera como cliente solicita a su generador que el suministro sea con energías renovables.

Esta última forma de integración ha sido la principal opción elegida por las operaciones mineras chilenas con poderosos procesos de renegociación de sus contratos eléctricos, con el objetivo de iniciar contratos con energías renovables y con precios más convenientes. Otras compañías mineras si bien han optado por vender sus acciones en proyectos de energías renovables para concentrarse en el negocio minero, se siguen abasteciendo a través de contratos PPAs de estos proyectos de energías renovables.

Por ello, este año Cochilco decidió integrar nuevas preguntas en encuesta EMPAE relacionadas al suministro de energías renovables en el consumo de electricidad de cada minera y que ha permitido en este informe contabilizar con información provista por las compañías mineras, sobre el porcentaje de uso de renovables dentro del total de consumo eléctrico del sector.

Tabla 3: Suministro de energías renovables por tamaño de operación minera del cobre en el 2022

Tipo de Minería	N° de Operaciones	Consumo Electricidad (TJ)	N° de Operaciones con PPA suministro de ER	PPA con suministro ER registrados en RENOVA	Electricidad suministrada con ER (TJ)
Gran Minería Estatal	8	25.216	1	0	4.909
Mediana Minería Estatal	6	971	6	1	961
Gran Minería	21	67.361	17	13	57.192
Mediana Minería	18	4.148	10	9	2.277
TOTAL	53	97.696	34	23	65.339
Porcentaje (%)			64%	43%	67%

Fuente: Cochilco en base a datos EMPAE 2023

En Tabla 3 se puede observar que la totalidad de las operaciones de la mediana minería estatal Enami, ya tiene en el 2022 suministro eléctrico con energías renovables en un 100%, le sigue la gran minería del cobre en que la mayoría de sus operaciones (81%) ya cuentan con suministro renovable, y este representa el 85% de su consumo eléctrico, en tanto un 56% de las operaciones de la mediana minería tienen ya integrado un suministro renovable que representa un 55% del consumo eléctrico de ese segmento, Codelco tiene una de sus operaciones con contrato de suministro renovable y este suministro representa el 13% de su consumo eléctrico total. Es así como la minería del cobre chilena tiene un 64% de sus operaciones con contratos con energías renovables que suministran el 67% de la demanda eléctrica total del sector minero.

Ahora bien, hoy en día dada la estructura de nuestro sistema eléctrico es bastante complejo identificar o correlacionar una unidad de generación de la matriz energética con el consumidor final (en este caso la minería) y pueden haber por ejemplo eventuales restricciones en la transmisión, cuando se producen congestiones en la transmisión. Por tanto estos contratos que el proveedor ofrece de energías renovables debieran ser certificados y o trazados.

Es así como el Coordinador Eléctrico Nacional, apoyado por el Ministerio de Energía, está implementando RENOVA², un sistema de trazabilidad para acreditar que los contratos de suministro eléctrico basados en energías renovables que cumplen con esta condición y a la vez reconocer el atributo cero emisión de la electricidad generada de fuentes renovables. Para evitar conflictos de doble contabilidad, RENOVA generó una metodología para determinar también un factor de emisión residual de la red eléctrica basado en el Greenhouse Gas Protocol (GHG) Protocol.

De los contratos de suministro con energías renovables, la gran minería tiene un 62% de estos PPAs registrados en RENOVA, le sigue la mediana minería con el 50% de sus contratos también registrados en este sistema. En minería estatal, la mediana minería tiene una operación con registro Renova y Codelco aún no está con registro Renova en el año 2022.

En síntesis se ven los avances de la integración de las energías renovables en minería del cobre al año 2022, hecho que le permite reducir sus emisiones GEI en las operaciones mineras, pudiendo así dar cumplimiento a los compromisos públicos que ha realizado el sector como lograr una carbono neutralidad en un futuro cercano.

6.4.2. Progresiva implementación de la Eficiencia Energética

Si bien la integración de energías renovables en la matriz energética nacional es muy positivo para un desarrollo sustentable del sector minero, este suministro creciente con fuentes limpias debe complementarse con un mejoramiento continuo de la eficiencia energética y con una gestión de la energía en una minería sustentable líder en la mitigación al cambio climático, debe incluir el mejoramiento continuo de la eficiencia energética y con una gestión de la energía. Por tanto es importante que la industria minera del cobre siga incrementando la eficiencia energética en uso de electricidad y combustibles en aquellas faenas que ya han comenzado en esta senda y desarrollar esta línea de trabajo en las faenas donde no se ha realizado aún. Por ello el compromiso y colaboración entre las propias empresas mineras y dentro de sus divisiones, con la eficiencia energética es relevante, ya que permitirá la transferencia de mejores prácticas en este ámbito, fortaleciendo el negocio minero.

En la materia, cabe destacar que ya en 2015 el Consejo Minero (CM), como representante de la gran minería, y el Ministerio de Energía, firmaron un Convenio de colaboración orientado a impulsar un uso cada vez más eficiente de la energía en las empresas que componen esta asociación y a fomentar iniciativas que contribuyan a la innovación y la cultura en el buen uso de la energía,

² <https://www.coordinador.cl/renova/>



siguiendo las mejores prácticas internacionales en la materia. Es así como el sector minero fue el primero en firmar un acuerdo de este tipo, anticipando la implementación de las normas que se establecerían, respecto de los grandes consumidores de energía, en el proyecto de Ley de Eficiencia Energética, en el marco de la Agenda de Energía del Ministerio de Energía. Por su parte, Codelco, aunque integra el CM, firmó un convenio directo con el Ministerio de Energía sobre la misma materia, dada su condición de empresa pública. Dentro de los principales compromisos del Convenio de colaboración a) la industria minera se sometió a auditorías energéticas independientes con el objetivo de identificar oportunidades de mayor eficiencia energética relacionadas con mejoras operacionales, mantenimiento, reemplazo de equipos e introducción de nuevas tecnologías b) Compromiso de implementar Sistemas de Gestión de Energía con estándares internacionales o fortalezcan sistemas de este tipo con los que ya cuentan; c) Reportar informes de avances en materia de eficiencia energética.

Otro importante avance público privado en la materia se puede ver en página web del Proyecto eficiencia energética en la minería <https://www.energiaenmineria.cl/>, ejecutado entre el 2019 y 2022, financiado por Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Seguridad Nuclear y Protección al Consumidor de Alemania (BMUV) gestionado por GIZ Chile siendo contrapartes el Ministerio de Energía de Chile y la Agencia de Sostenibilidad Energética. Este Proyecto consideró la creación de una Red de Eficiencia Energética y Reducción de Emisiones en el sector minero en Chile, en el que el objetivo común es mejorar gestión energética de mineras o implementar medidas de eficiencia energética, valiéndose para lograrlo del intercambio de experiencias, problemáticas y recursos mutuos. De este grupo de trabajo se recopiló una serie de medidas de eficiencia energética aplicables a distintos procesos mineros que están publicadas en el sitio web.

6.4.3. Eficiencia energética en el 2022

Dado que el sector minero del cobre es un importante consumidor energético y el contexto actual nacional con la Ley de Eficiencia Energética, este año Cochilco decidió integrar nuevas preguntas en encuesta EMPAE en relación a si empresas mineras calificaban como CCGE y si así fuera respecto a sus avances en implementación de lo requerido en la Ley como por ejemplo tener un SGE.

Esta información suministrada por las empresas mineras encuestadas se puede ver en Tabla 4, muestra que en el año 2022 la totalidad de las operaciones de la gran minería del cobre y Codelco califican como CCGE, en tanto en mediana minería, en Enami solo 1 operación no califica y de a mediana minería privada solo 3 operaciones no califican como CCGE. Es así como se puede decir que el 92% del sector minero del cobre está afecto a la Ley de eficiencia energética y califica como CCGE.



Tabla 4: Eficiencia Energética por tamaño de operación minera del cobre al 2022

Tipo de Minería	N° de Operaciones afectas a Ley de EE	N° Operaciones con SGE implementado	N° Operaciones que identifican brechas para tener un SGE	N° Operaciones con planes de Electromovilidad y/o transporte bajo en emisiones
Gran Minería Estatal	8	6	8	6
Mediana Minería Estatal	5	3	5	0
Gran Minería	21	15	17	17
Mediana Minería	15	14	12	9
TOTAL	49	38	42	32
Porcentaje (%)	92%	72%	79%	60%

Fuente: Cochilco en base a datos EMPAE 2023

Si bien la totalidad de las empresas en Chile que calificaron como CCGE, tienen un plazo de 12 meses entre 2023 al 2024 para implementar su SGE, en Tabla 4 se muestra que ya en el año 2022 el 78% de las operaciones de la mediana minería tiene su SGE ya implementado, en tanto Codelco un 75% de sus operaciones, la gran minería un 71% y Enami el 50% de sus operaciones con un SGE implementado. Es así como el 72% del sector minero de cobre ya tiene SGE implementado en el año 2022, adelantándose así a lo exigido por la Ley. Ahora bien, un 79% de las empresas mineras identifican brechas para tener su SGE totalmente implementado.

Otro punto importante impulsado por la Ley de eficiencia energética es la electromovilidad. Al respecto en Tabla 4 se puede observar que la electromovilidad en el sector minero del cobre ya ha empezado a implementarse en transporte liviano como iniciativa para reemplazar combustible, ejemplos de ello son el uso de taxis y buses eléctricos para el traslado de trabajadores y de equipos en zonas de operación. El 86% de las operaciones de la gran minería del cobre ya tiene planes de electromovilidad y/o transporte bajo en emisiones y en Codelco el 75% de sus operaciones, en tanto en mediana minería, el 50% de sus operaciones cuentan con avances en la materia y Enami aún no tiene planes de electromovilidad implementados.

7. Comentarios finales

La industria minera enfrenta los desafíos de un intenso y creciente consumo energético, la necesidad de que el suministro sea constante y seguro y la necesidad de desarrollar una producción sustentable lo que la hace necesitar del uso de energía compatible con el medio ambiente y de reducir las emisiones de gases efecto invernadero del sector.

En las últimas décadas ha habido un aumento progresivo en el consumo energético superior a los aumentos en la producción de cobre. Entre el 2001-2022 la producción nacional de cobre se ha incrementado un 13%. En tanto el consumo energético de la minería, ha aumentado un 116%. Desglosando por tipo de energía el consumo eléctrico ha aumentado un 107% y el de combustibles un 126%, en el período 2001-2022.



Lo anterior se atribuye a causas estructurales y de producción en la industria del cobre nacional. Por el lado de las causas estructurales, se encuentra el continuo y natural envejecimiento de las minas, lo que a su vez se relaciona con menores leyes del mineral (lo que implica mayor mineral a transportar y procesar para obtener igual cantidad de cobre que en años anteriores), a una roca más endurecida y a mayores distancias de acarreo, situación que en su conjunto aumenta los requerimientos energéticos, especialmente de combustibles pero también de electricidad. Ello se ve reflejado principalmente en el aumento en el consumo de combustibles de la mina rajo que se ha triplicado entre 2001 al 2022, llegando a representar en el 2022 el 79% del total combustible usado en minería del cobre.

En paralelo, se cuenta las restricciones a la extracción de agua continental, que ha impulsado a varias faenas a instalar plantas de desalación e impulsión de agua de mar hacia las faenas, proceso que es altamente intensivo en electricidad y que en el 2022 representa el 9% del consumo eléctrico total de la minería del cobre.

Atendiendo a las causas productivas, destaca la sucesiva mayor producción de concentrados de cobre debido al agotamiento natural de los minerales oxidados (22% de crecimiento concentrados versus 8% de decrecimiento en cátodos SX-EW en el periodo 2021-2022), lo que acrecienta la necesidad de energía, sobre todo eléctrica, por dos vías. La directa, mediante el proceso mismo de concentración de mineral intensivo en energía eléctrica, que en el 2022 representa el 52% del consumo eléctrico minero. La indirecta, por el mayor uso de agua en este proceso, lo que a su vez refuerza la tendencia al uso de agua de mar, intensivo en energía eléctrica.

A pesar de estos desafíos, actualmente el escenario de suministro energético en el país se presenta más favorable para el desarrollo de la minería del cobre que en años anteriores, principalmente porque los precios de combustible y energía eléctrica se han mantenido relativamente estables y lejos de los altos niveles alcanzados diez años atrás. Asimismo, Chile ha dado prioridad a la transición energética, y si bien hay muchos desafíos que subsanar para lograr este compromiso, el país ha avanzado con mejoras significativas para un escenario energético más eficiente y sustentable, que asegure el suministro energético aprovechando el gran potencial del país en energías renovables. Esto se ha logrado al fomentar su incorporación, impulsando la descarbonización y estableciendo criterios de uso eficiente de la energía, dentro de un mercado energético estable con un marco regulatorio que ha logrado trascender a los gobiernos convirtiéndose en políticas de Estado, con énfasis en que esta transición sea justa y sustentable con consenso social.

En este contexto de transición energética nacional, se visualiza a la industria minera del cobre como actor clave en fomentar la incorporación de energías renovables sin emisiones en la matriz energética; que ha mostrado acciones concretas de estar comprometido con uso de energías limpias y sustentables. Además ha ido incorporando la eficiencia energética.

Es así como en los últimos años, un importante número de empresas mineras ha realizado procesos de renegociación de contratos eléctricos por contratos con suministro de energías renovables. Al año 2022 un 67% de la demanda eléctrica minera proviene de fuentes limpias.



Otro aspecto importante en este camino a la transición energética y desarrollo sustentable del sector minero es el mejoramiento continuo de la eficiencia energética. Hoy el país cuenta con la Ley de Eficiencia Energética, que mandata a los principales consumidores de energía en el país, entre los cuales está el sector minero, a realizar una gestión activa del consumo de energía, implementar sistemas de gestión de energía y reportar sus parámetros energéticos anualmente para su debida fiscalización, con esto se busca promover mejoras continuas y reducción de emisiones. .

Al respecto, la industria minera ha realizado esfuerzos y logrado avances en la materia. En el 2022, el 92% del sector minero del cobre está afecto a la Ley de eficiencia energética, el 72% de las operaciones mineras de cobre ya tienen sus sistemas de gestión de energía implementados, adelantándose así a lo exigido por la Ley. Sin embargo, un 79% de las empresas mineras identifican brechas para tener su sistema de gestión energético totalmente implementado. Por tanto es importante que la industria minera del cobre siga incrementando la eficiencia energética en uso de electricidad y combustibles en aquellas faenas que ya han comenzado en esta senda, y desarrollar esta línea de trabajo en las faenas donde no se ha implementado aún. Por ello el compromiso y colaboración entre las propias empresas mineras y dentro de sus divisiones, con la eficiencia energética es relevante, ya que permitirá la transferencia de mejores prácticas en este ámbito, fortaleciendo así el negocio minero en su conjunto.

La Ley de eficiencia energética también ha impulsado la electromovilidad. La implementación de la electromovilidad en el sector minero del cobre ya ha empezado con el uso en transporte liviano como iniciativa para reemplazar combustible. Ejemplos de ello son el uso de taxis y buses eléctricos para el traslado de trabajadores y de equipos en zonas de operación. En 2022, el 86% de las operaciones de la gran minería del cobre ya cuentan con planes de electromovilidad y/o transporte bajo en emisiones. En Codelco el 75% de sus operaciones ha avanzado en esta dirección, en tanto en la mediana minería, el 50% de sus operaciones cuentan con avances en la materia, mientras que Enami aún no tiene planes de electromovilidad implementados.

La visión de largo plazo que se le da al negocio minero va de la mano con el desarrollo que tiene el sector energético, el cual en el último tiempo ha presentado varios avances pero también tiene desafíos futuros. Dada la transición energética en el país, existe una buena probabilidad de que el desarrollo del sector energético del país impulse a la minería a lograr los objetivos propuestos de tener una minería sustentable y que mitigue el cambio climático. Para que esto ocurra, es esencial que se aborden los desafíos como; la transmisión e integración de la energía renovable a la matriz, la flexibilidad del sistema, la planificación territorial y de generación entre otros. Asimismo, es fundamental que las empresas mineras continúen los esfuerzos para lograr la carbono neutralidad; superando el desafío de la intermitencia, para dar paso a un suministro constante, lo cual puede ser compensando a través de sistemas de almacenamiento.; y además si el mundo logra dar suministro continuo y sustentable de los materiales necesarios para una transición energética; entonces en término de electricidad, existe una buena probabilidad de que el desarrollo del sector energético del país impulse a la minería a lograr los objetivos propuestos de tener una minería sustentable y que mitigue el cambio climático.



8. Anexo: Operaciones consideradas

Tabla 3 Operaciones consideradas en la edición 2022 de la EMPAE

Nombre	Región	Tamaño
Pampa Camarones	XV	Med Min Cu
Cerro Colorado	I	Gran Min Cu
Collahuasi	I	Gran Min Cu
Quebrada Blanca	I	Gran Min Cu
Altonorte	II	Gran Min Cu
Antucoya	II	Gran Min Cu
Cenizas Taltal	II	Med Min Cu
Centinela	II	Gran Min Cu
Chuquicamata	II	Estatal
El Abra	II	Gran Min Cu
Escondida	II	Gran Min Cu
Franke	II	Med Min Cu
Gaby	II	Estatal
Lomas Bayas	II	Gran Min Cu
Mantos Blancos	II	Gran Min Cu
Mantos de la Luna	II	Med Min Cu
Ministro Hales	II	Estatal
Planta Salado	II	Med Min Est
Planta Taltal	II	Med Min Est
Radomiro Tomic	II	Estatal
Sierra Gorda	II	Gran Min Cu
Spence	II	Gran Min Cu
Zaldivar	II	Gran Min Cu
Atacama Kozan	III	Med Min Cu
Candelaria	III	Gran Min Cu
Caserones	III	Gran Min Cu
Mantoverde	III	Gran Min Cu
Ojos del Salado	III	Med Min Cu
Paipote	III	Med Min Est
Planta Matta	III	Med Min Est
Planta Vallenar	III	Med Min Est
Pucobre	III	Med Min Cu
Salvador	III	Estatal
Carola	III	Med Min Cu
Andacollo	IV	Gran Min Cu
Los Pelambres	IV	Gran Min Cu
Minera Cruz	IV	Med Min Cu
Planta Delta	IV	Med Min Est
San Gerónimo	IV	Med Min Cu
Tambo de Oro	IV	Med Min Cu
Tres Valles	IV	Med Min Cu
Amalia Catemu	V	Med Min Cu
Andina	V	Estatal
Cenizas Cabildo	V	Med Min Cu
Cerro Negro	V	Med Min Cu
Chagres	V	Gran Min Cu
El Soldado	V	Gran Min Cu
La Patagua	V	Med Min Cu
Ventanas	V	Estatal
Los Bronces	RM	Gran Min Cu
El Teniente	VI	Estatal
Valle Central	VI	Med Min Cu

Fuente: Cochilco



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

Rosana Brantes Abarca

Analista de Dirección de Estudios y Políticas Públicas

Víctor Garay Lucero

Director de Estudios y Políticas Públicas (S)

Septiembre / 2023

