

Informe GEI 2023

Emisiones de gases de efecto invernadero (directas e indirectas) asociadas a la minería del cobre al año 2023

Dirección de Estudios y Políticas Públicas
Noviembre 2024



DEPP 27/2024

RPI 2024-A-12096

Resumen Ejecutivo



La minería del cobre chilena ha ido disminuyendo sus emisiones GEI, a pesar del aumento en el consumo energético debido a: una creciente producción y principalmente por temas estructurales que enfrenta la industria.

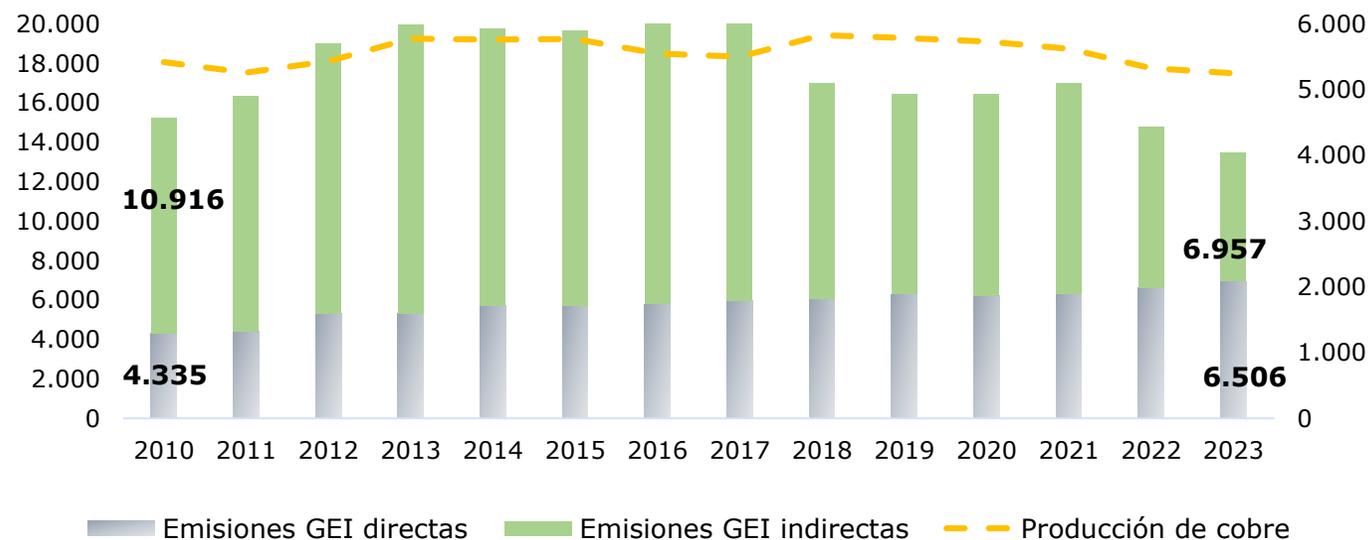
✓ En el 2023 se registraron emisiones GEI por un total de 13.463 KtCO₂ eq. distribuidas en:

- 6.957 mil por GEI directos (52% del total de emisiones de la minería del cobre) y,
- 6.506 mil por GEI indirectos (48% del total).

✓ Estas emisiones fueron las más bajas desde 2010, a pesar de un mayor consumo de energía debido a factores como el envejecimiento de las minas.

✓ En términos de producción, en el período hubo una caída del 3% en la producción de cobre (con una disminución del 36% en cátodos SX-EW y un aumento del 18% en concentrados).

Emisiones de GEI y producción de la minería del cobre en Chile, 2010 -2023



Entre 2010 -2023 las emisiones GEI bajaron un 12%: 40% menos de emisiones indirectas y 60% más de directas

✓ En 2023, en cuanto a los procesos,:

- Mina rajo fue el mayor emisor de GEI, con 6.029 mil toneladas de CO₂ eq., representando el 45% del total de emisiones de la minería del cobre (95% de estas emisiones fueron directas por el uso de diésel).
- El segundo proceso más emisoro fue concentración, con 3.608 mil toneladas de CO₂ eq., que representa el 27% de las emisiones totales (96% son indirectas por el uso de electricidad).

✓ A nivel regional, Antofagasta es la región con mayor nivel de emisiones con 7.994 mil toneladas de CO₂ eq., que representan el 59% del total de emisiones de la minería del cobre durante el año 2023 (un 55% proviene de emisiones directas y un 45% de las indirectas).

Tabla de Contenidos



Introducción	01	05	Emisiones GEI Totales
Metodología	02	06	Comentarios Finales
Emisiones GEI Directas	03		
Emisiones GEI Indirectas	04		

Introducción



En el contexto de los compromisos adquiridos por el país en materia de cambio climático, el país requiere generar información actualizada respecto de las emisiones GEI de los distintos sectores productivos.

En esta línea, la Comisión Chilena del Cobre ha entregado desde el año 1991 información relevante para el desarrollo sustentable del sector minero chileno, mediante líneas de trabajo permanente conducente posteriormente a la cuantificación de las emisiones de GEI con el Estudio anual *“Emisiones de gases de efecto invernadero directas e indirectas en la minería del cobre chilena”*



Puntos Relevantes

- 01** Este informe se basa en datos de 52 operaciones mineras recopilados por la Encuesta de Producción, Agua y Energía (EMPAE) que en el 2023 representó el 99% de la producción de cobre nacional.
- 02** Esta alta cobertura de información es proporcionada voluntariamente por las empresas mineras lo que ha permitido medir de forma precisa, permanente y estandarizada las emisiones del sector, lo que transparenta el real impacto y relevancia en el país.
- 03** El informe se estructura en varias secciones: metodología de medición de GEI, resultados de emisiones directas, emisiones indirectas, y emisiones totales de la minería del cobre chilena

Alcances y Metodología



- A través de la Encuesta se consulta los niveles de producción de cobre, el consumo de energía (combustibles y electricidad) por proceso minero de las principales operaciones mineras, incluyendo fundiciones y refinерías.

EMPAE

Encuesta Minera de
Producción, Agua y
Energía

Revisión y estandarización de la información

- Se revisa la información recibida de producción y energía.
- Se solicitan ajustes en caso de existir discrepancias con otras fuentes de información o valores atípicos respecto de la información histórica.
- La información se estructura considerando los distintos procesos involucrados en la producción de cobre en el país.

- En base a la información sobre consumos de energía se estiman emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mineras, tanto:
- **Directas o de alcance 1**, que son las generadas por el consumo de combustibles en las operaciones. Se utilizan los correspondientes factores de emisión por tipo de combustible señalados en la metodología prevista por el International Panel on Climate Change (IPCC), 2006.
- **Indirectas o de alcance 2**, que son las emitidas en la generación térmica de electricidad por terceros que abastecen a las operaciones mineras. Se calculan con el factor de emisión por unidad de electricidad consumida del sistema eléctrico nacional (SEN)

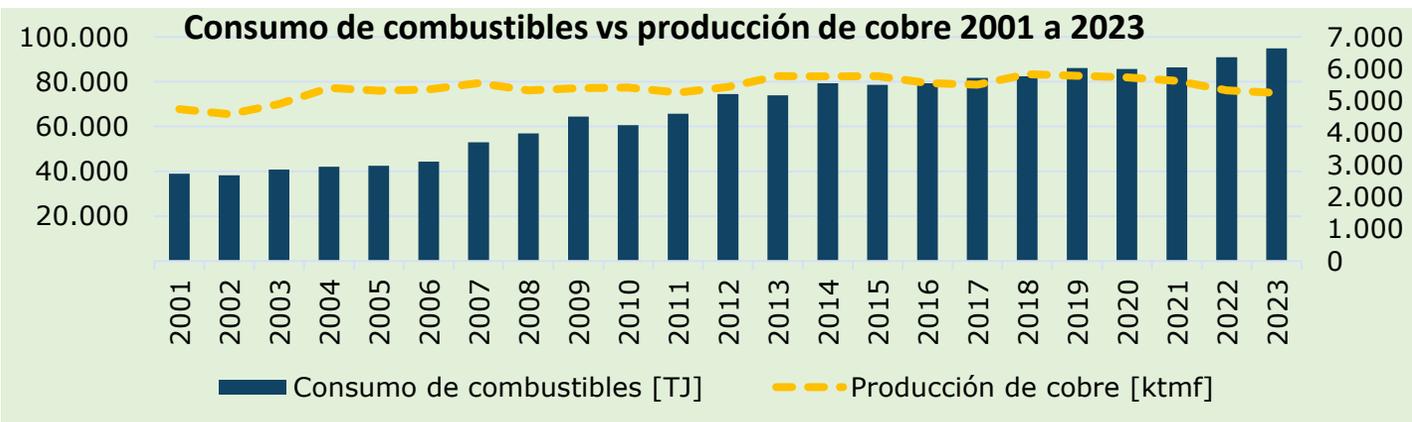
Cálculo de
emisiones GEI

Emisión de GEI Directos en la Minería del Cobre

- Consumos de combustibles y emisiones asociadas
- Tipos de combustibles utilizados y sus emisiones
- Emisiones por procesos mineros
- Emisiones por región
- Emisiones GEI directos a nivel unitario



Emisión total de GEI Directos en la minería del cobre en Chile

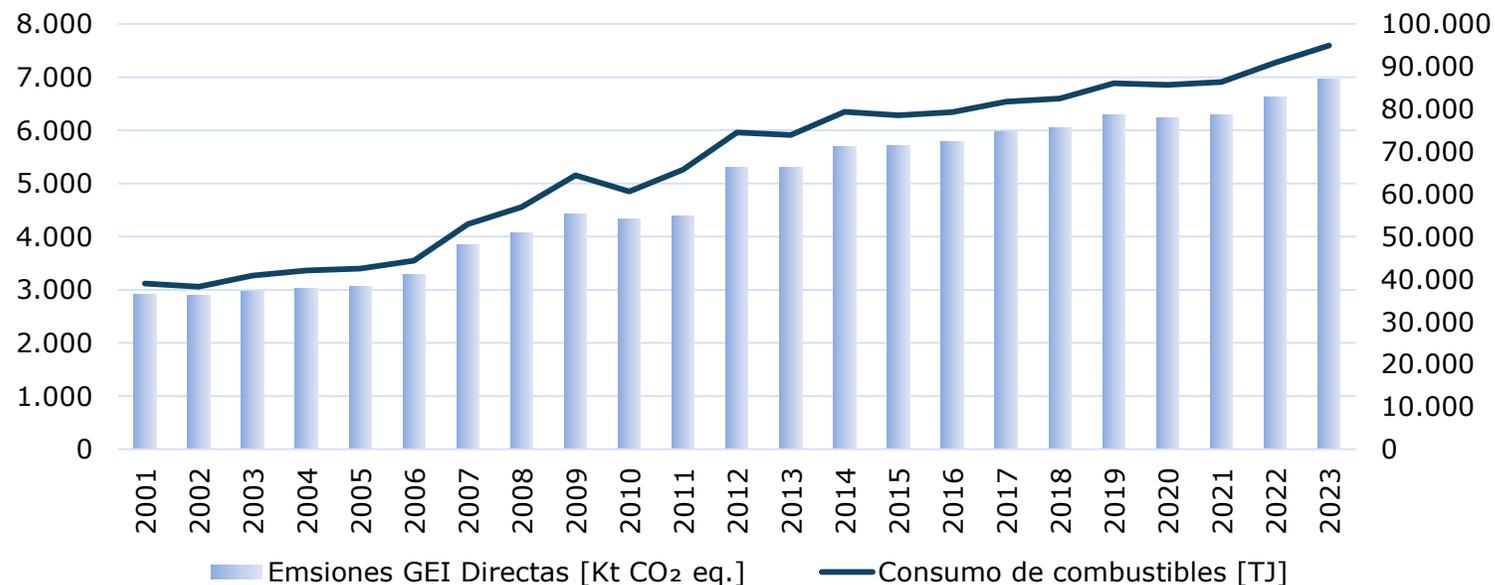


Se observa como el consumo de combustibles en la minería del cobre ha ido incrementado desde el 2001 al 2023, cuyo aumento correspondería a un 144%

Mientras que la producción de cobre incrementó en un 11% para el mismo periodo.

6.956,9 Kt/CO₂ eq en el año 2023

Entre 2001-2023 las emisiones GEI directas se han ido incrementado, a una tasa anual del 5,3% entre 2001 al 2013 y a una tasa promedio anual del 2,8% entre 2014 y 2023



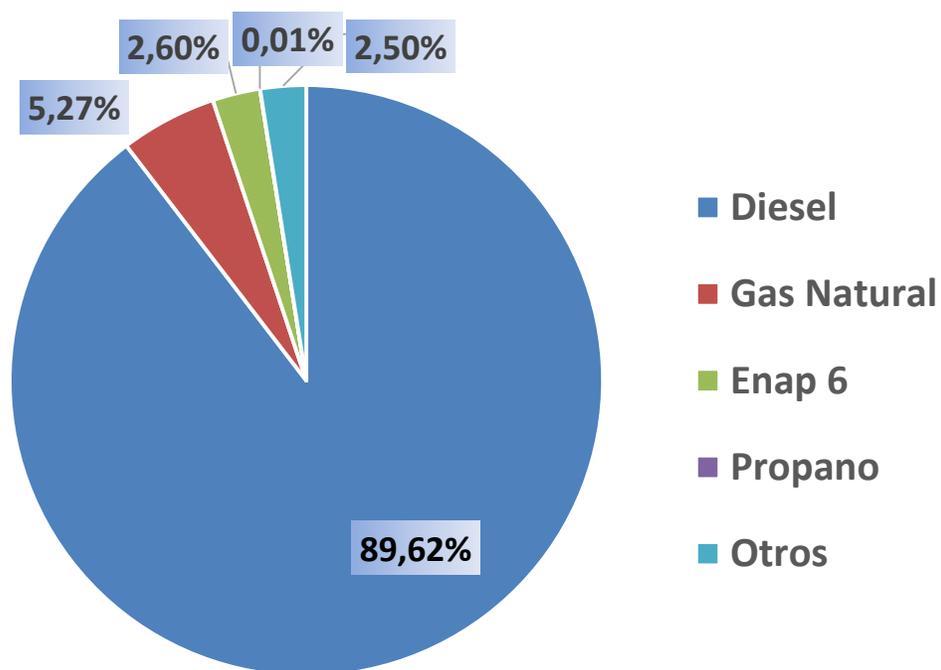
Las emisiones de GEI directas se han más que duplicado en la minería del cobre **aumentando un 139,3% al 2023**

Emisión total de GEI Directos por tipo de combustible, 2023



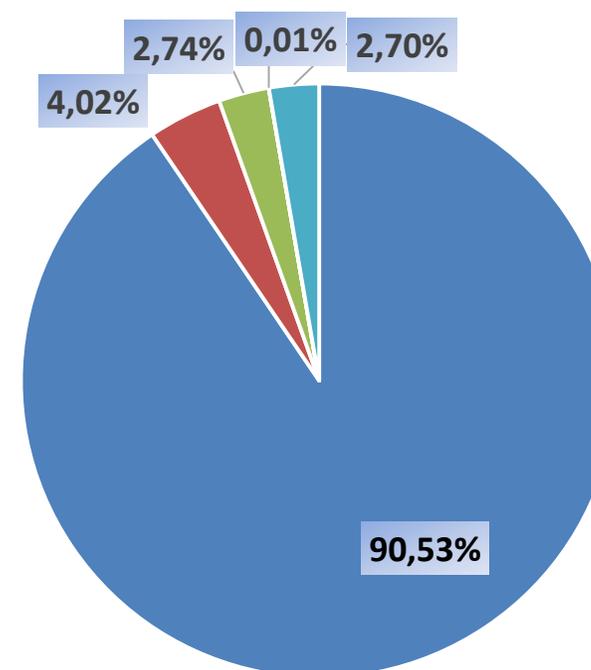
94.934 TJ

Consumo Combustibles



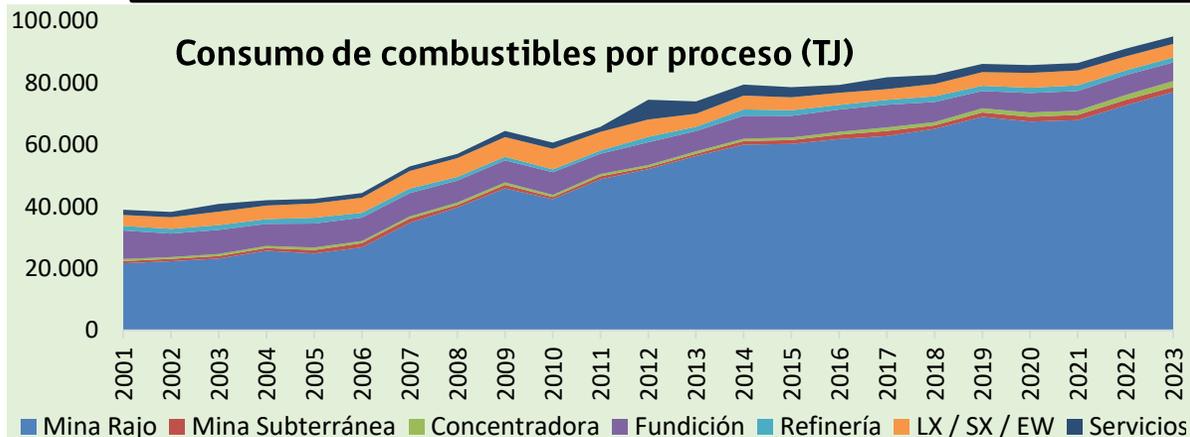
6.957 Kt CO₂ eq.

Emisiones GEI Directas



El Diésel es por lejos el principal combustible usado en minería y responsable del **91% de las emisiones directas** del sector.

Emisión total de GEI Directos por proceso



- Mina rajo es el proceso que mayor demanda combustible (81,1% del total de combustibles usados en minería el 2023).
- El diésel representa un 97,9% del total de combustibles usados en mina rajo el 2023.
- En los últimos 22 años, el consumo de combustible se ha más que triplicado.

5.711,0 Kt/CO₂ eq
Mina Rajo en el año 2023

82,1% de las emisiones directas de GEI

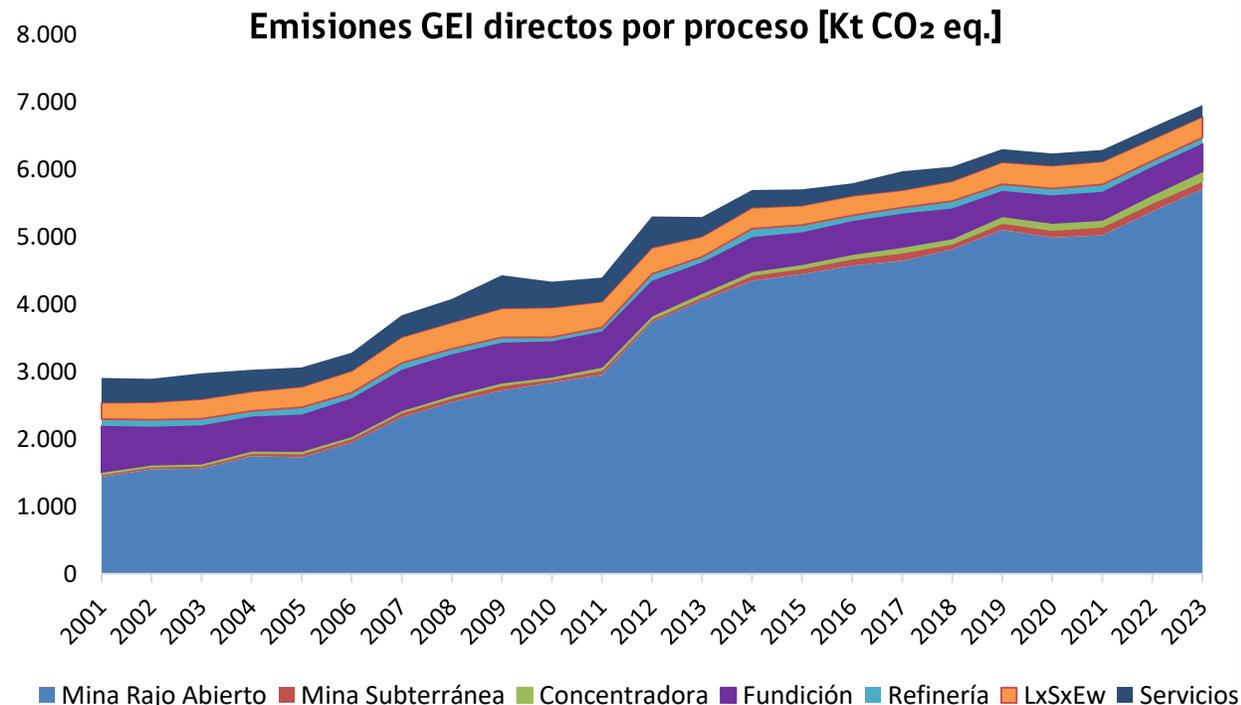
296,8% aumento de emisiones entre 2001-2023

Fundición emitió 409,5 KtCO₂ eq., representando el 5,9% del total emisiones directas

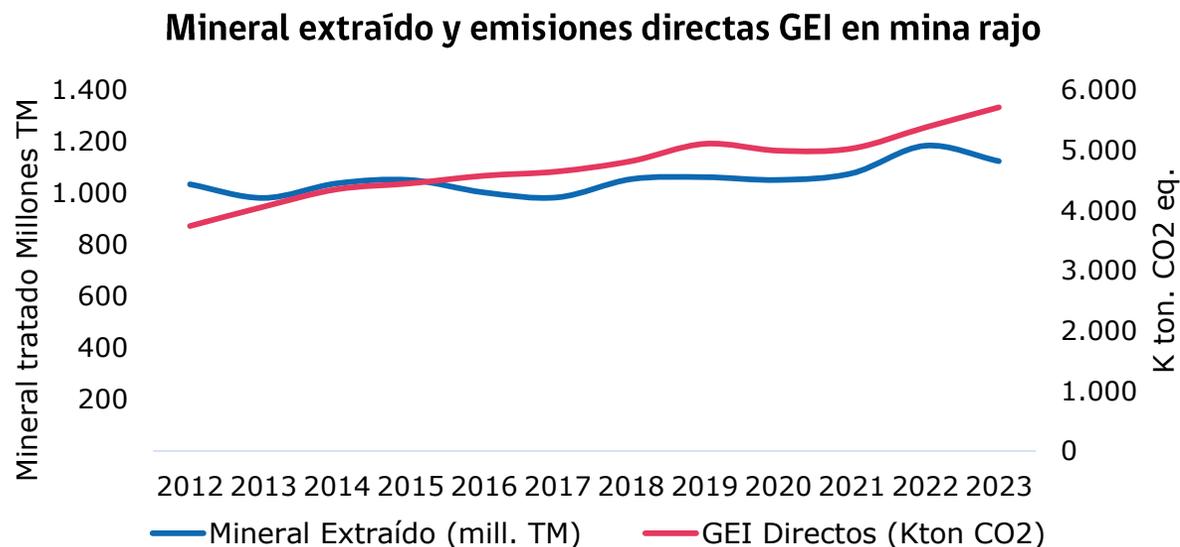
- No ha tenido crecimiento en capacidad instalada y ahora se sumarán cierres de Ventanas y Paipote

LX-SX-EW emitió 311,0 KtCO₂ eq., representando el 4,5% del total emisiones directas

- Emisiones disminuyeron 28,1% vs disminución cátodos de un 13,2% entre 2001-2023



Emisión total de GEI Directos por proceso



5.711,0

Kt/CO₂ eq
Mina Rajo en el año 2023

296,8% aumento de emisiones entre 2001-2023

Este crecimiento acelerado se puede explicar por:

- Incremento producción de cobre,
- Reducción de la ley de cobre,
- Ingreso en operación nuevas minas a rajo
- Mayor profundidad yacimientos,
- Mayor distancia de acarreo y pendientes

Si bien el mineral extraído desde la mina rajo ha presentado fluctuaciones positivas y negativas, las emisiones directas GEI han tendido al alza en cada año, sosteniendo la tesis de, que mayor uso de diésel se debe al aumento de las distancias de acarreo

Se seguirá incrementando su peso relativo, de no incorporarse medidas como la sustitución del diésel como insumo primario o mejoras tecnológicas

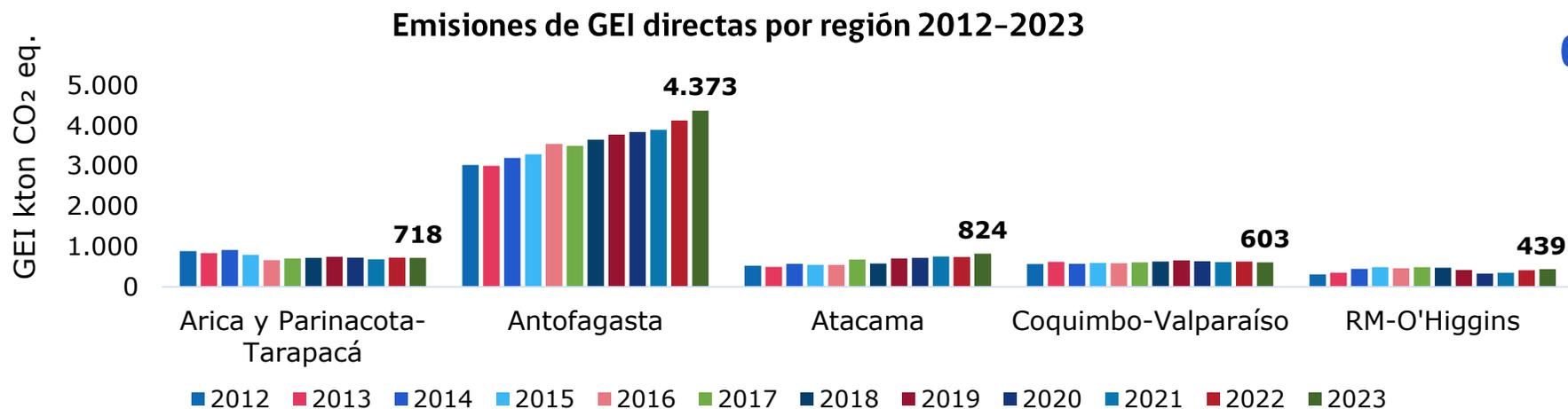
Debe continuar énfasis en iniciativas para reemplazar el uso de diésel, utilizando combustibles con menores o sin emisiones GEI, o alternativas híbridas como los Trolleys en tramos que sea factible de implementar.

La mayoría de estas iniciativas están aún en etapa de planificación, estudio o de desarrollo de prototipos, pilotos y pruebas, que además necesitan considerar el tiempo de tramitación de permisos sectoriales respectivos, por lo que se visualizan como opciones más al mediano y largo plazo.

Emisión de GEI Directos por Región

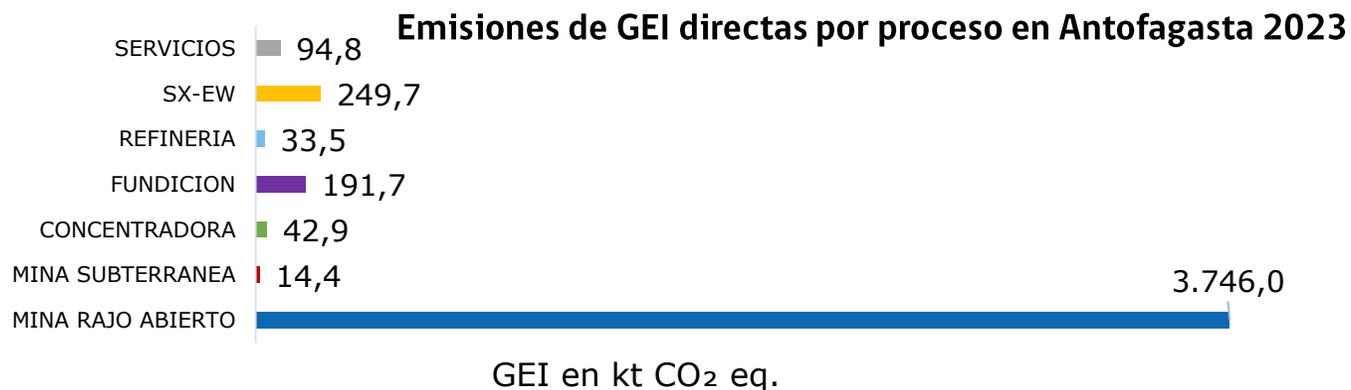


Antofagasta es por lejos la región con mayor nivel de emisiones, 4.373,1 kt de CO₂ eq. por GEI directos durante 2023, representando así el 62,9% del total de GEI directo minero.



01

Antofagasta concentra las mayores operaciones de minas a rajo abierto del país (proceso con intensivo uso de diésel) lo que implica que más del 57,1% de la producción de mina provenga de la segunda región.



02

Mina rajo es el proceso que mayores emisiones tiene con 3.746,0 kt CO₂ eq., representando el 85,7% de las emisiones directas de GEI de Antofagasta.

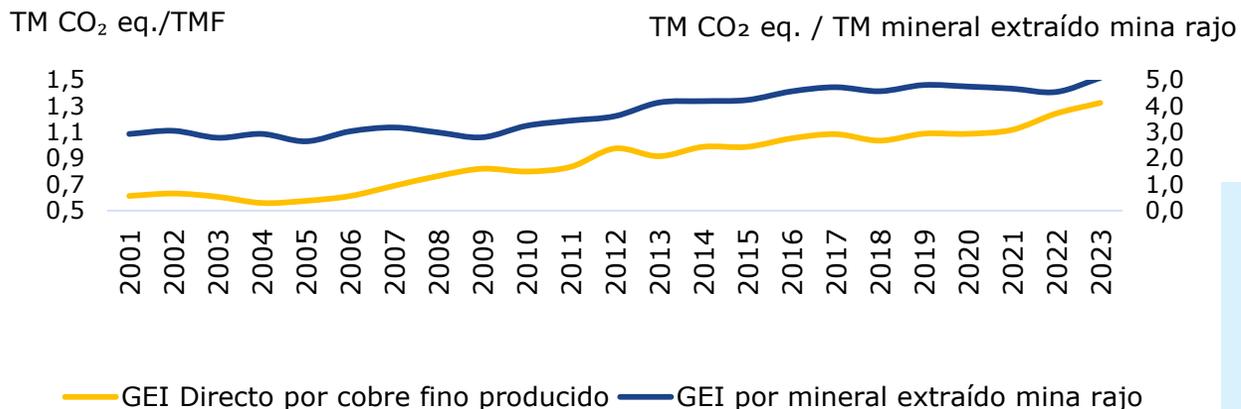
LX-SX-EW con 249,7 kt CO₂ eq., (5,7%)

Fundición con 191,7 kt CO₂ eq., (4,4%) en 2023.

Coeficientes Unitarios de emisión de GEI directos



Emisiones de GEI directos por tonelada de cobre fino 2001-2023



Mina Rajo en el año 2023

1,3 tCO₂ eq/t cu producida

5,1 tCO₂ eq/t mineral extraído en rajo

La mayor producción de cobre no es el único factor responsable del incremento en las emisiones, ya que también influyen factores estructurales de la minería, siendo el envejecimiento de las minas el principal.

Fundiciones 2023

0,35 tCO₂ eq/t tonelada de cobre fino contenido en Blíster/Ánodos

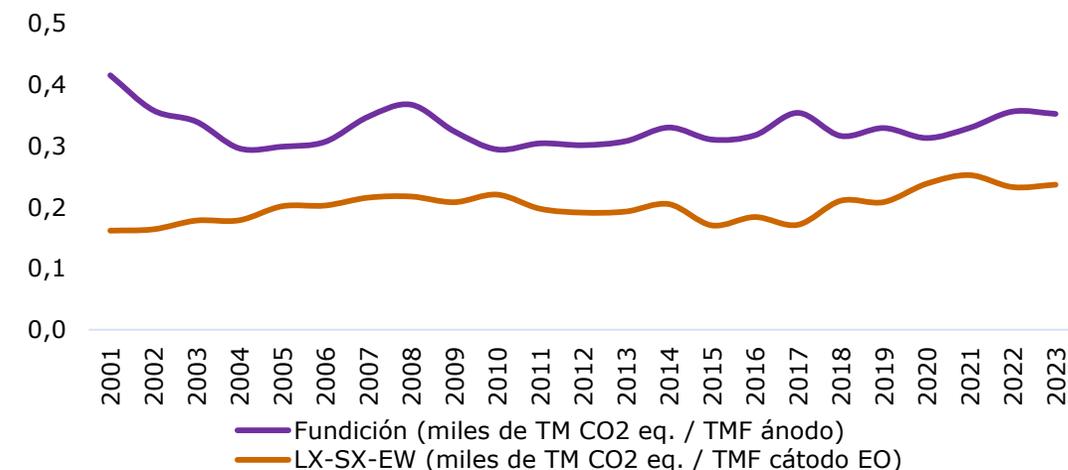
Siendo el promedio sostenido en las últimas dos décadas de 0,33

LX-SX-EW 2023

0,24 tCO₂ eq/t tonelada de cátodo electro obtenido

Similar al promedio del todo el periodo, equivalente a 0,20

Emisiones de GEI directos por cobre fino contenido en Fundición y Electro-obtención 2001-2023





Emisión de GEI Indirectos en la Minería del Cobre

- Consumo de energía eléctrica y sus emisiones
- Por proceso
- Por Región
- Emisiones GEI directos a nivel unitario



Foto: Generadoras Chile 2024

Sistema Eléctrico Nacional (SEN)



Factores de emisión de GEI según Sistema Interconectado y SEN

Año	SIC	SING	SEN
	(tCO ₂ eq/MWh)	(tCO ₂ eq/MWh)	(tCO ₂ eq/MWh)
2010	0,3555	0,7158	
2011	0,3841	0,7388	
2012	0,3945	0,8057	
2013	0,4351	0,8113	
2014	0,3636	0,7905	
2015	0,3459	0,7643	
2016	0,3970	0,7667	
2017	0,3364	0,7730	
2018			0,4187
2019			0,4056
2020			0,3834
2021			0,3907
2022			0,3006
2023			0,2421

Fuente: Ministerio de Energía, 2024

01

Desde el 2018 el suministro de electricidad de la minería del cobre proviene del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), unión del Sistema Interconectado Central (SIC) para el centro sur del país y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) para el norte grande de Chile.

02

El factor de emisión para el SEN es de: **0,2421 tCO₂ eq/MWh**, en el 2023, este es:

- 68,7% menor que el factor de emisión del SING 2017
- 28,0% menor que el factor de emisión del SIC 2017

03

El factor de emisión del SEN ha ido disminuyendo dado el importante aumento de la generación renovable en la matriz energética chilena. En 2023:

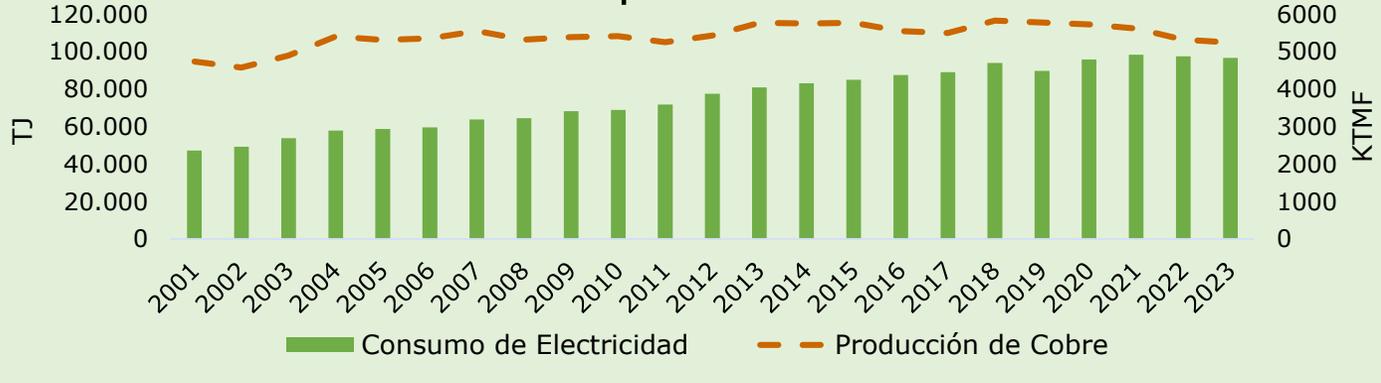
- 63% de generación renovable.
- Mayor aumento lo han tenido las tecnologías solar fotovoltaicas y eólica, que han aumentado drásticamente pasando en conjunto de un 0,8% en 2013 a un 31% en 2023,
- La generación térmica ha ido bajando y en 2023 representó un 37%

(ACERA y Coordinador Eléctrico Nacional, 2024).

Emisión total de GEI Indirectos en la minería del cobre en Chile



Consumo de electricidad vs producción de cobre 2001 a 2023



El consumo de electricidad se ha ido incrementando:

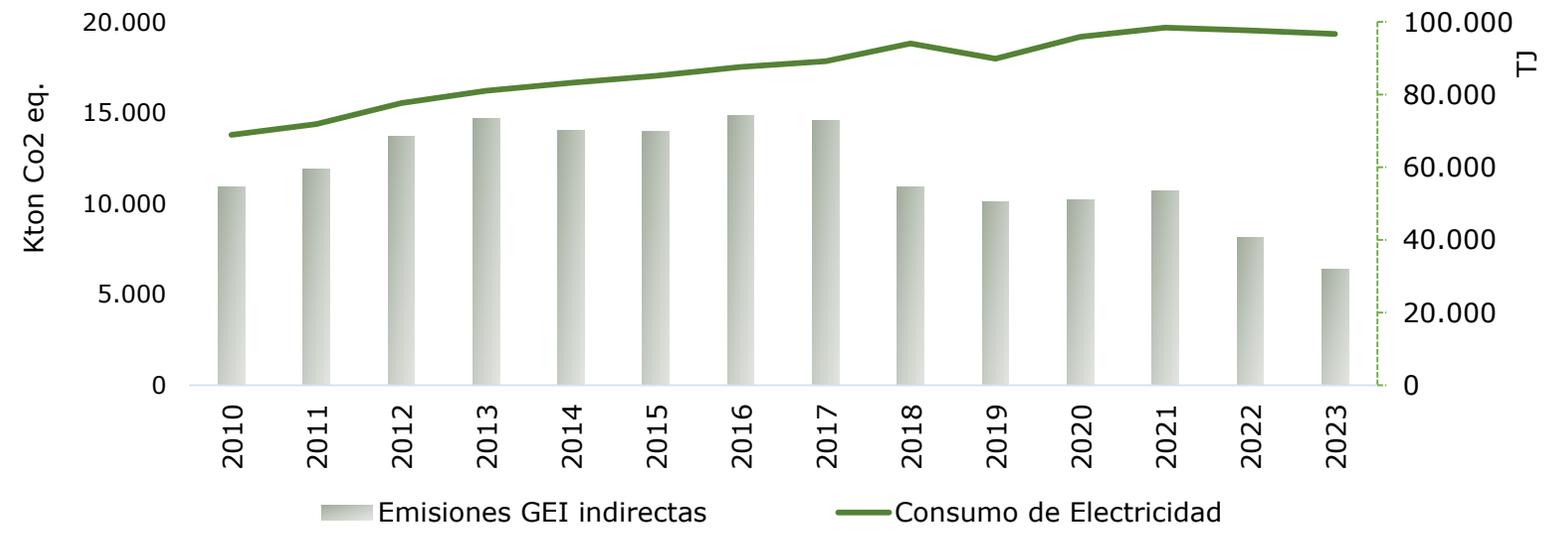
- Entre 2001 al 2023 aumentó 105%
- Entre 2010 al 2023 aumentó 40,3% y la producción de cobre disminuyó un 3,6%.

6.506,1 Kt/CO₂ eq en el año 2023

Entre 2010-2023 las emisiones GEI indirectas se disminuyeron un 40,4%

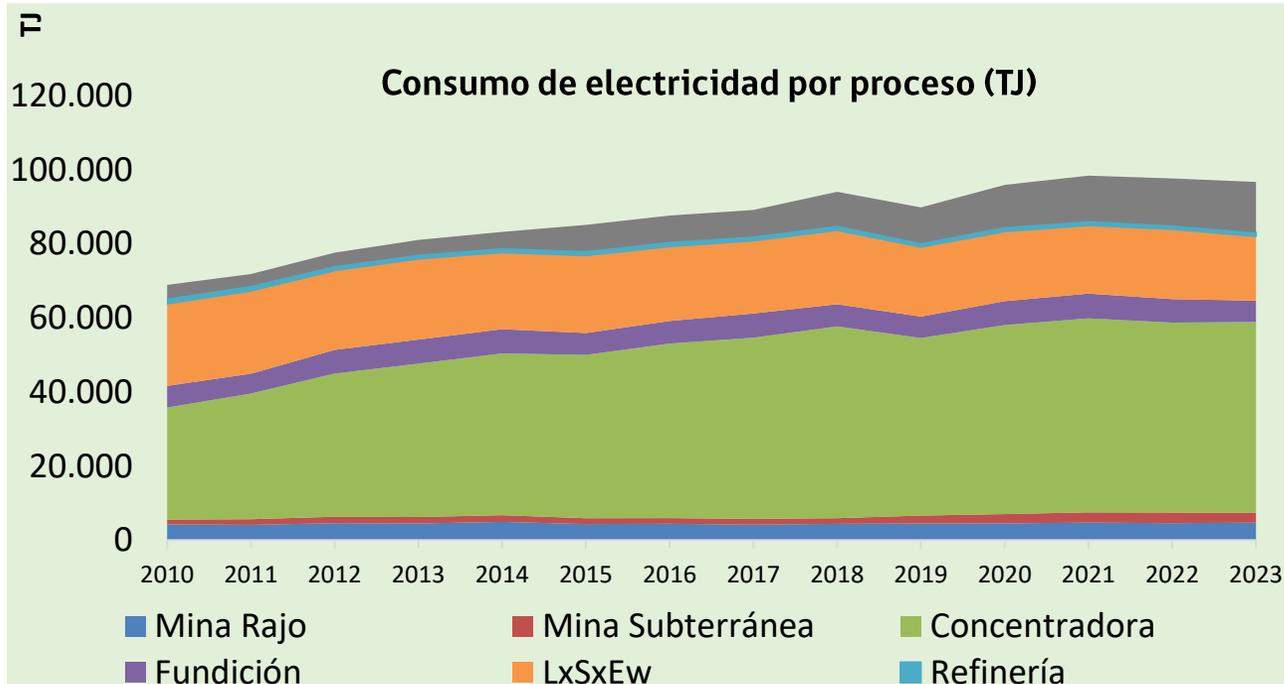
Desde creación del SEN las emisiones indirectas disminuyeron 55,4%

Emisiones de GEI indirectas y consumo de electricidad de la minería del cobre en Chile, 2010-2023



A medida que se integren más fuentes de energías renovables en la matriz energética nacional se espera que las emisiones de GEI indirectas sigan disminuyendo

Emisión total de GEI Indirectos por proceso



La **Concentración** es el proceso que mayor demanda eléctrica (**53,2% del total** de combustibles usados en minería el 2023).

Entre 2010 al 2023:

- ✓ Su demanda eléctrica aumentó un **70,1%**

Este aumento de consumo de electricidad se debe principalmente al chancado y molienda dada la mayor dureza de la roca, mayor volumen de mineral procesado en plantas concentradoras, un 71,7% en el periodo analizado, y al incremento sostenido de la producción de concentrados.

- ✓ La producción de concentrados aumentó en un **17,6%**, .

La **electro-obtención** es el 2do proceso de mayor consumo eléctrico

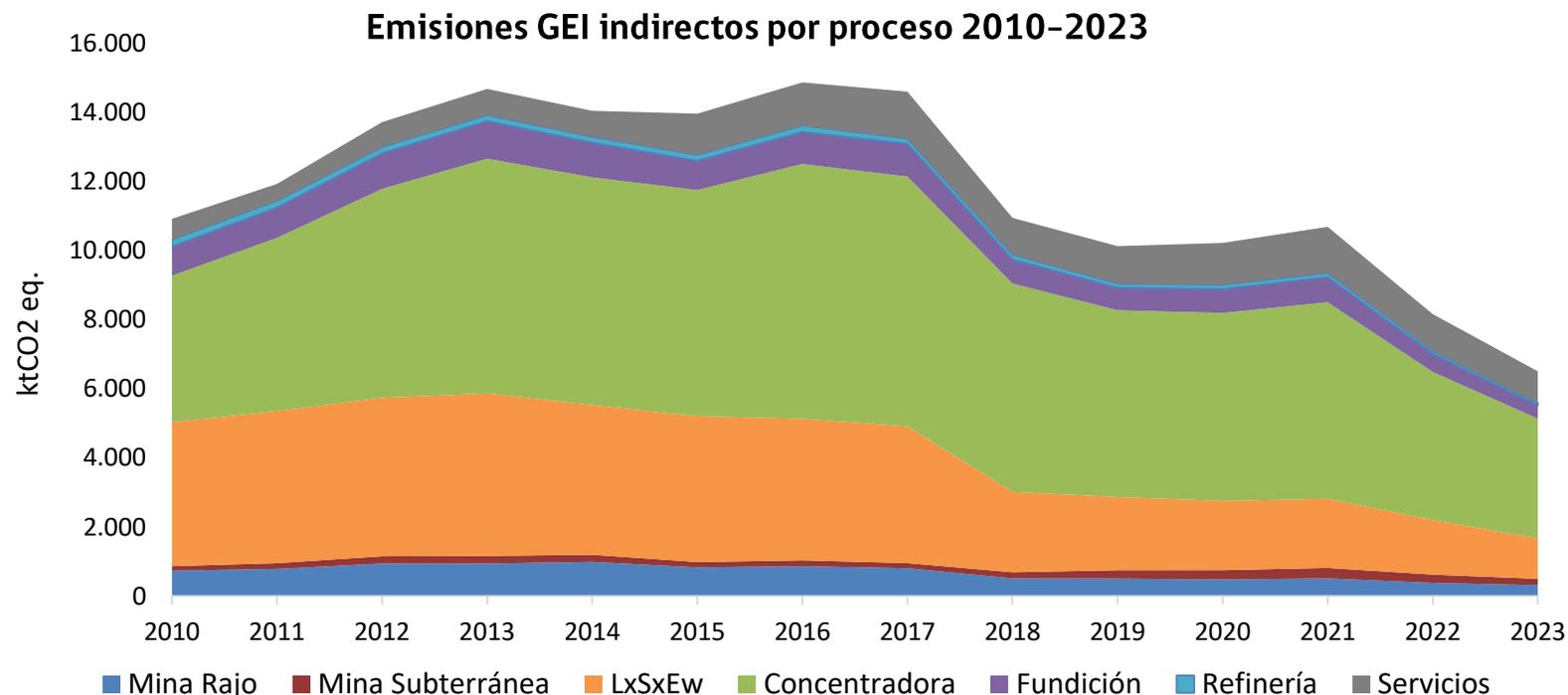
- ✓ **18,0%** del consumo eléctrico de la minería del cobre en 2023

Entre el 2010 al 2023:

- ✓ la producción de cátodos disminuyó en un 36,1%
- ✓ consumo de electricidad disminuyó un 21,6%

La Concentración trae aparejada una creciente demanda eléctrica por sistemas de desalación de agua de mar y especialmente su impulsión a las faenas minera.

Emisión total de GEI Indirectos por proceso



3.462,7 Kt/CO₂ eq
Concentración en el 2023

53,2% de las emisiones indirectas de GEI
18,3% disminución de emisiones indirectas
entre 2010-2023

Este proceso hasta el año 2017 se suministraba del SING en un 48% aproximadamente, y el SING tenía en ese año un coeficiente de emisión un 68,7% mayor que el actual SEN

Así se explica la baja de emisiones de este proceso en el 2023 en un 52,1% respecto al 2017

La Electro-obtención es el 2do proceso de mayor GEI indirectas con **1.170,5 KtCO₂ eq.** en 2023

✓ **18,0%** de Emisiones indirectas

Entre el 2010 al 2023: **71,9%** reducción de emisiones

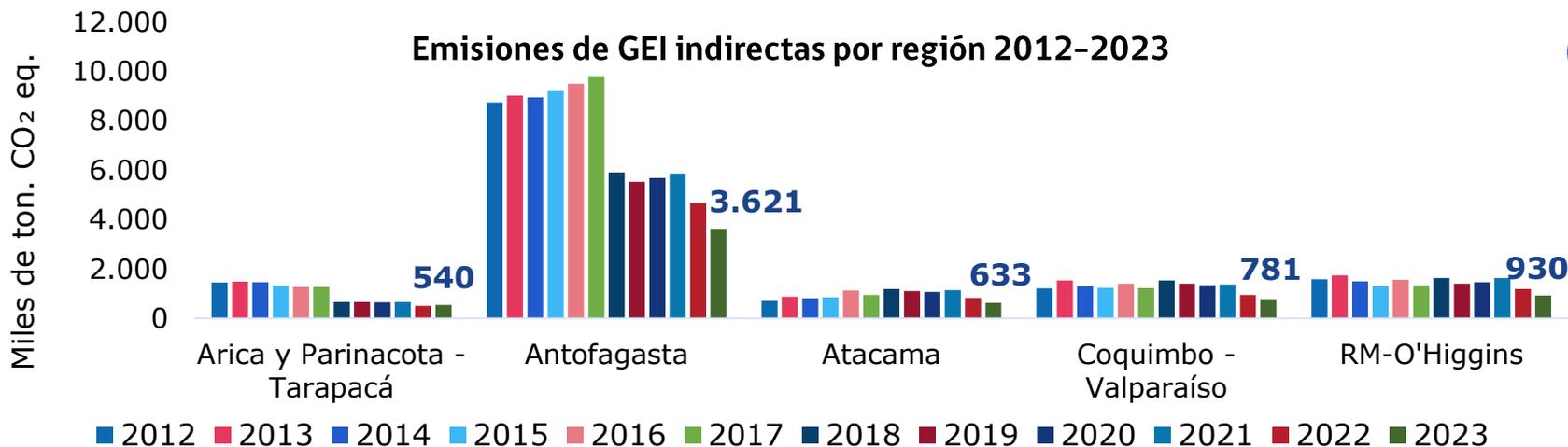
En 2023 las emisiones GEI indirectas por concepto de uso de agua de mar (desalación y/o impulsión) son **635,1 KtCO₂ eq.**

✓ **9,8%** del total de emisiones GEI indirectas

Emisión de GEI Indirectos por Región

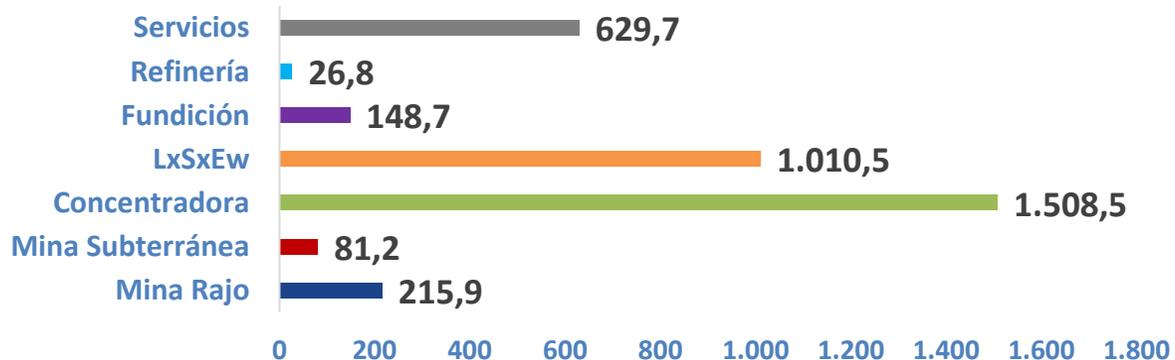


Antofagasta es la región con mayor nivel de emisiones, 3.621,3 kt de CO₂ eq. durante 2023, representando así el 55,7% del total de GEI indirecto minero.



01 En 2023 a todas las regiones se le aplican un mismo factor de emisión de 0,2421 tCO₂ eq/MWh perteneciente al SEN. Hasta el 2017, Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta estaban conectadas al SING (que tenía un factor de emisión de un 68,7% mayor que el SEN actual) y Atacama, Coquimbo, Valparaíso y O'Higgins conectadas al SIC (que tenía en el 2017 un factor 28,0% mayor que el del SEN actual).

Emisiones de GEI directas por proceso en Antofagasta 2023



02 **Concentración** es el proceso que mayores emisiones tiene con 1.508,5 ktCO₂ eq., representando el 41,7% de las emisiones indirectas de GEI de Antofagasta.

LX-SX-EW con 1.010,5 kt CO₂ eq., (27,9%)

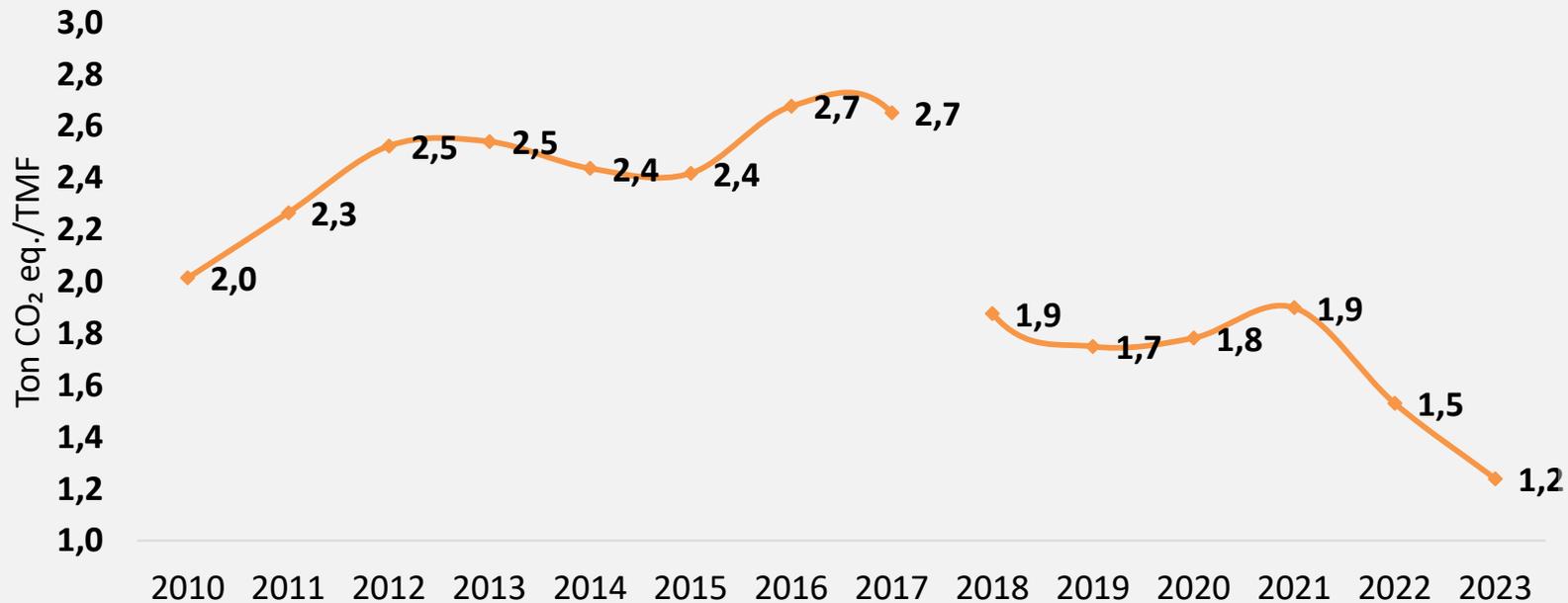
Servicios con 191,7 kt CO₂ eq., (17,4%)

Coeficiente Unitario de emisión de GEI Indirectos en la minería del cobre en Chile



El decrecimiento del indicador están vinculados principalmente con la caída en el factor de emisión en el SEN, como se revisó en diapositivas anteriores.

Coeficiente unitario global de GEI indirectos en la minería del cobre en Chile 2010-2023



- Al 2023 este indicador alcanzó un valor de **1,24 ton CO₂ eq.** por cobre fino producido
 - ✓ Lo cual es un 39,4% menor que en 2010
 - ✓ 53,3% menos que en 2017 y,
 - ✓ 19,0% menor que en 2022.

Integración de Energías Renovables (ERs)



En el contexto de:

El gran avance en el desarrollo de las energías renovables (ER)

Que el país a su vez ha liderado una revolución energética en los últimos años avanzando en mejoras significativas para un escenario energético que integre ER

El gran avance en el desarrollo de tecnologías para almacenamiento de ER

Se estima que habrá uso creciente de las ERs en el sector minero chileno y ya se han ido integrando a las operaciones

Integración de ERs:

A través de proyectos desarrollados por la propia minera para abastecerse, integrando en algún proceso como en lixiviación con el calentamiento de soluciones

A través de contratos PPA (Power Purchase Agreements) en los que la minera ha participado en la inversión del proyecto de energías renovables

A través de contratos PPA en los que la minera como cliente solicita a su generador que el suministro sea con energías renovables

Integración de Energías Renovables (ER)



65% de las operaciones mineras de cobre en Chile tiene contratos de abastecimiento con ER que suministran el 74% de la demanda eléctrica total del sector minero

Suministro de energías renovables por tamaño de operación minera del cobre en el 2023

Tipo de Minería	Número de operaciones	Consumo Electricidad (TJ)	PPA suministro de ER	PPA con suministro ER registrado en RENOVA	Electricidad suministrada con ER (TJ)	Porcentaje del consumo suministrado con ER
Gran Minería Estatal	8	24.045	1	0	5.400	22%
Mediana Minería Estatal	6	889	6	5	889	100%
Gran Minería Privada	21	68.376	19	17	63.759	93%
Mediana Minería Privada	17	3.434	8	7	1.974	57%
TOTAL	52	96.744	34	29	72.022	74%

Ha habido un notable y rápido avance en el **abastecimiento eléctrico con ER** en el sector minero, **aumentando un 7%** respecto al 2022

Dada la estructura compleja del sistema eléctrico se vuelve difícil asociar una unidad de generación de la matriz energética con el consumidor final, por lo tanto, los contratos debieran ser certificados y o trazados.

En este marco surge RENOVA*; un sistema de trazabilidad para acreditar que los contratos de suministro eléctrico basados en ER y a la vez reconocer el atributo cero emisión de la electricidad generada de fuentes renovables.

De los contratos mineros de suministro con energías renovables, el **85%** de estos PPAs están registrados en RENOVA en el 2023.

Integración de ER y reducción de emisiones alcance 2

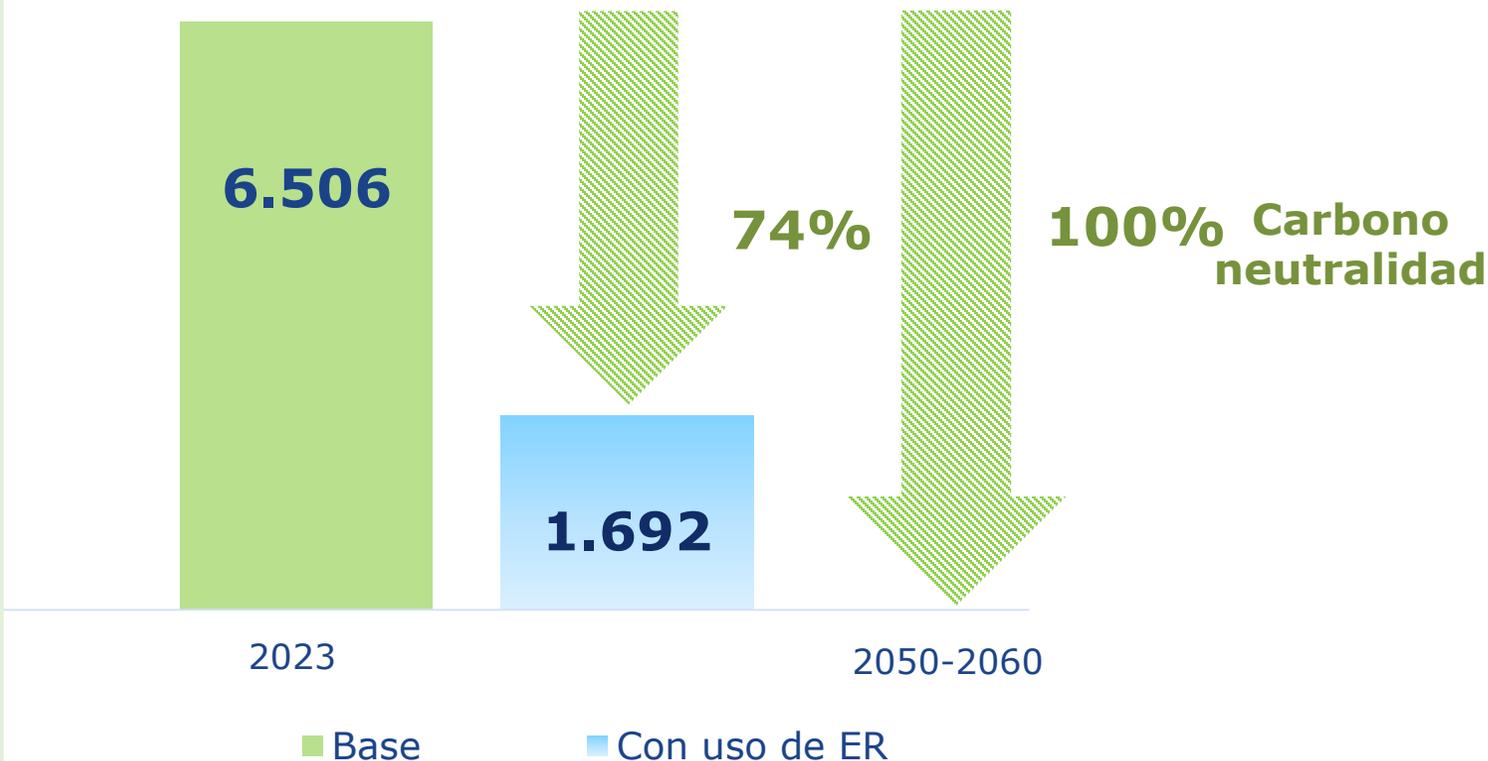


El 74% de suministro eléctrico con **energías limpias sin emisiones** en las operaciones mineras del cobre implica en términos de GEI indirectos:

- Una reducción de **4.814,5 ktCO₂ eq.**
- Se puede estimar que la minería del cobre tuvo **1.691,6 kt CO₂ eq.** de emisiones GEI alcance 2.

La integración de las ER en minería del cobre permite reducir las emisiones GEI en las operaciones mineras, sin embargo ello no depende solo de la voluntad minera sino también de si el país logra la transición energética y la integración de estas ER

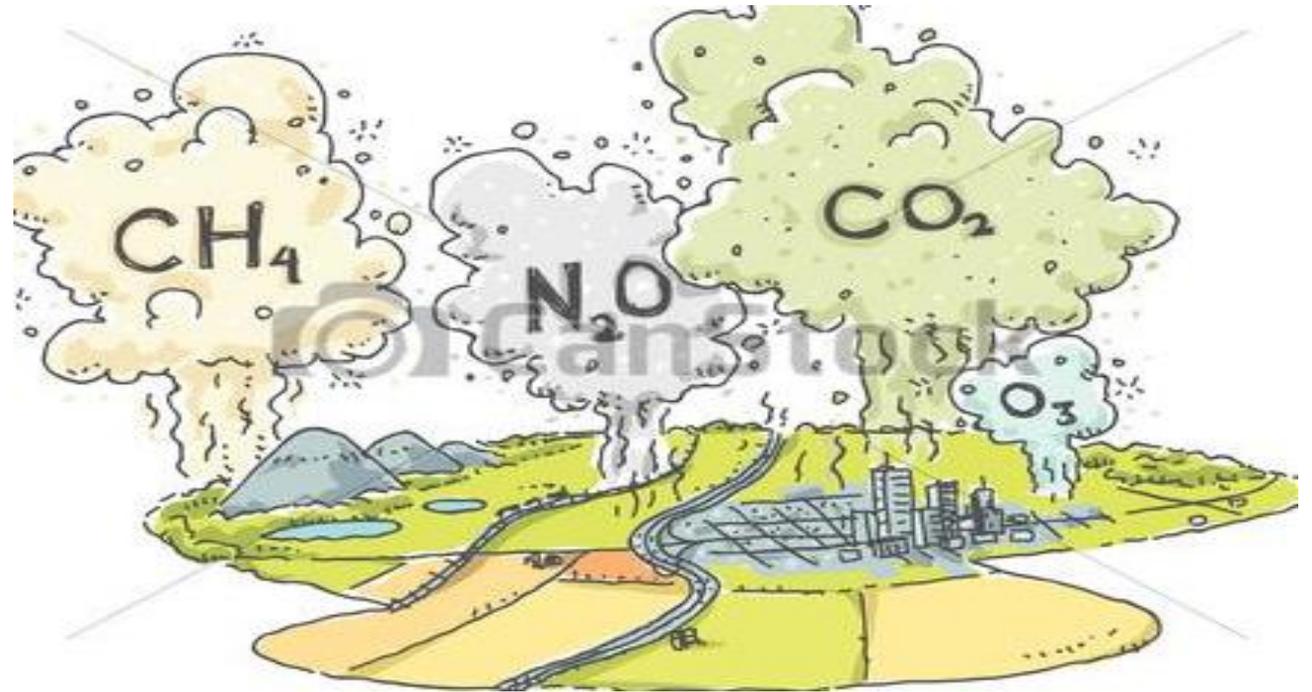
Emisiones GEI Alcance 2 (kt CO₂ eq.) en minería del cobre



Fuente: Elaboración propia en base a información pública, noviembre 2024



Emisión GEI de la Minería del Cobre



Emisión total de GEI en la minería del cobre en Chile



13.462,9 Kt/CO₂ eq en el año 2023

51,7% GEI directos

48,3% GEI indirectos

Entre 2010-2023

- **11,7%** de disminución emisiones GEI
- **3,1%** disminución producción cobre

La disminución de las emisiones totales a pesar del aumento de demanda energética tanto de combustibles como electricidad en igual período, muestra el **impacto positivo de la integración de energías limpias sin emisiones para suministro eléctrico**

Emisión total de GEI en la minería del cobre en Chile



Comparando el 2023 con el año 2022:

8,9% disminución GEI totales

vs

1,5% disminución producción cobre

➤ 5,0% de aumento GEI directos
(4,4% aumento combustibles)

➤ 20,2% de disminución de GEI indirectos
(0,97% disminución electricidad)

No sólo la
disminución de
producción de
cobre es causa de
disminución GEI
totales

Los yacimientos siguen
envejeciendo lo que
implica mayor uso de
diésel

Las iniciativas para
reducir o eliminar diésel
en mina rajo aún están
en desarrollo tecnológico
y/o de pruebas

La integración de las
Energías Renovables al
SEN que en 2023 tiene
un factor de emisión
2023 19,5% menor que
el 2022 impacta en la
reducción emisiones
indirectas

Comentarios Finales



La minería chilena del cobre ha realizado acciones concretas para mitigar las emisiones de efecto invernadero y contribuir al desarrollo sostenible del sector y cumplir con los compromisos que el país ha adoptado interna e internacionalmente para mitigar el cambio climático.

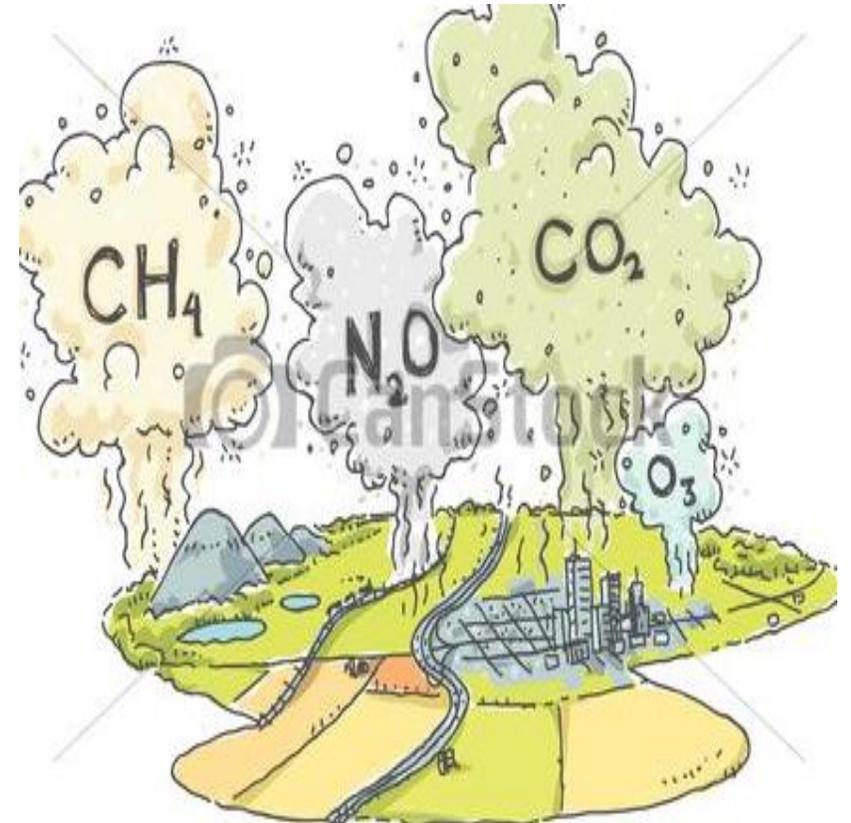
Las necesidades energéticas del sector minero del cobre han ido aumentando y se espera por temas estructurales que enfrenta la minería, aumenten en el tiempo y por tanto de igual forma se incrementen sus emisiones GEI.

En relación a las emisiones indirectas o de alcance 2, se espera vayan reduciéndose a niveles cercanos a cero al 2050 basado en que la electricidad requerida por el sector minero del cobre provenga de fuentes renovables en un futuro.

- ✓ Para que esto ocurra, es esencial que Chile aborde desafíos como mejorar: la transmisión e integración de la energía renovable a la matriz nacional
- ✓ En la medida que se integren energías renovables, tanto directamente en procesos mineros así como en la matriz energética del país, las emisiones GEI de la minería del cobre irán disminuyendo en un futuro.

Para reducir las emisiones de alcance 1, los focos están en mina rajo, y se están desarrollando iniciativas que buscan reemplazar el diésel, por alternativas con menores o sin emisiones. La mayoría de estas iniciativas están aún en etapa de planificación, estudio o de desarrollo de prototipos, pilotos y pruebas, por lo que se visualizan como opciones más al largo plazo.

Si conjuntamente la transición energética avanza en Chile y en el mundo y se abordan los problemas actuales de integración de energías renovables a nivel nacional, sumado a que continúen los esfuerzos mineros por lograr la carbono neutralidad, ello hará posible la transición energética minera.





Análisis elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

Analistas

Rossana Brantes Abarca

Ada Contreras

Directora de Estudios y Políticas Públicas

Patricia Gamboa

Copyright by Cochilco, todos los derechos reservados.

Se autoriza la reproducción total o parcial de este Informe, siempre que la fuente "Comisión Chilena del Cobre" y/o "Cochilco" sea citada, salvo que se indique lo contrario.

Informe GEI 2023

Emisiones de gases de efecto invernadero (directas e indirectas) asociadas a la minería del cobre al año 2023

Dirección de Estudios y Políticas Públicas
Noviembre 2024



DEPP 27/2024

RPI 2024-A-12096