

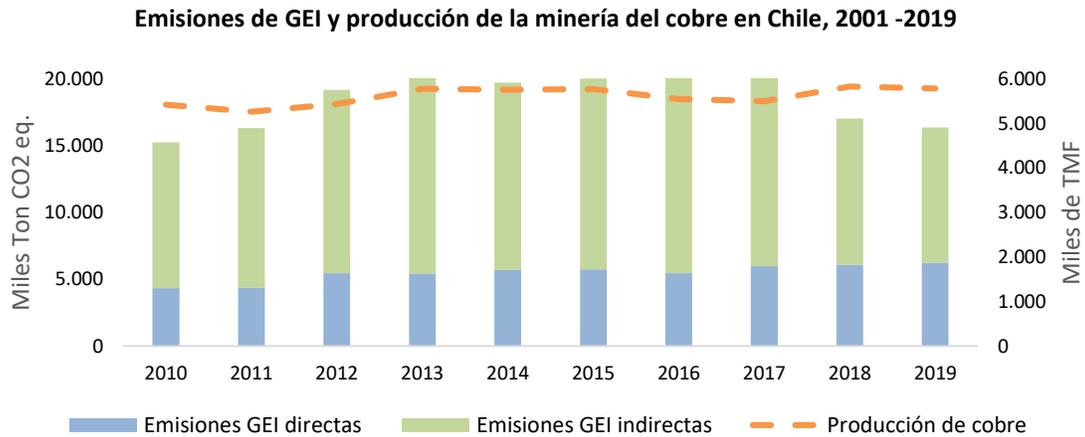


Emisiones de gases de efecto invernadero directos e indirectos en la minería del cobre al año 2019

DEPP 21/2020

Resumen Ejecutivo

Durante el año 2019 se registraron emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por un total de 16.366 mil toneladas de CO₂ equivalentes distribuidas en 6.252 mil por GEI directos (38,2% del total de emisiones de la minería del cobre) y 10.114 mil por GEI indirectos (61,8% del total).



Fuente: Cochilco.

En suma, al 2019, las emisiones totales fueron un 20% menores a las registradas durante 2017 y un 4% menor que en 2018. Ello se atribuye principalmente a la caída en un 30% respecto al 2017 y de un 8% en las emisiones indirectas respecto al 2018, lo que a su vez se explica por la baja importante en el factor de emisión del nuevo Sistema Eléctrico Nacional (SEN) de 0,4056 tCO₂ eq/MWh que es un 45,8% menor con respecto al factor de emisión del SING en el 2017, sistema del que se suministraba la mayor parte de la minería del cobre hasta el 2017 y un 3,1% menor que el factor de emisión del SEN en 2018.

Ahora bien, con respecto al año 2010 en cambio, se ha registrado un aumento del 7,3% en las emisiones totales en tanto la producción se ha mantenido relativamente estable aumentando un 6,8% en el período. El aumento en las emisiones en el período analizado se atribuye mayormente a causas estructurales en la matriz productiva minera destacando el envejecimiento de las minas, lo que a su vez conlleva mayores distancia de acarreo, mayor dureza de la roca, menores leyes del mineral y mayor uso de agua de mar.

En cuanto a los procesos, el de mayores emisiones totales durante 2019 fue el de concentración con 5.520,7 mil toneladas de CO₂ eq., que representa el 33,7% del total de la minería del cobre (un 97,8% de las emisiones de este proceso son indirectas por el uso intensivo de electricidad). El segundo proceso con mayor emisión total de GEI en el 2019 es el de Mina Rajo, con 5.569,4 mil ton de CO₂ eq., lo que representa un 34% de las emisiones totales de la minería del cobre (un 90,9% proviene de emisiones directas por el uso intensivo diésel como combustible).

A nivel regional, Antofagasta es la región con mayor nivel de emisiones por minería del cobre, con el 57,3% del total de emisiones de la minería del cobre durante el año 2019 (un 36,5% proviene de emisiones directas y un 63,5% de las indirectas).

Tabla de contenidos

Resumen Ejecutivo	2
1. Introducción	4
2. Metodología	4
2.1. Metodología de cálculo de GEI Directos.....	5
2.2. Metodología de cálculo de GEI Indirectas	7
3. Emisión de GEI Directos en la Minería del Cobre en Chile	9
3.1. Emisión Total de GEI Directos en la minería del cobre en Chile	9
3.2. Emisión de GEI Directos por Tipo de Combustible	10
3.3. Emisión de GEI Directos por Proceso en la minería del cobre en Chile.....	12
3.4. Emisión de GEI Directos por Región en la minería del cobre en Chile	15
3.5. Coeficientes Unitarios de emisión de GEI directos en la minería del cobre en Chile	17
4. Emisión de GEI Indirectos en la Minería del Cobre en Chile	18
4.1. Sistema Eléctrico Nacional.....	18
4.2. Emisión Total de GEI Indirectos en la minería del cobre en Chile	19
4.3. Emisión de GEI Indirectos por proceso en la minería del cobre en Chile	21
4.4. Emisión de GEI Indirectos por Región en la minería del cobre.....	23
4.5. Coeficiente Unitario de emisión de GEI indirectos en la minería del cobre en Chile	25
5. Emisión de GEI Totales en la minería del cobre en Chile	26
6. Emisiones GEI minería del cobre en el contexto nacional	30
7. Comentarios Finales	31

1. Introducción

El Acuerdo de París firmado por Chile el 20 de septiembre de 2016 y ratificado el 10 de febrero de 2017, es la confirmación fehaciente del compromiso chileno en materia de mitigación, adaptación al desafío del calentamiento global. A través de este, los países firmantes se comprometen entre otras cosas a aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del calentamiento global y promover la resiliencia a sus efectos y un desarrollo con bajas emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Precisamente, en pro del logro de este objetivo, es que se hace fundamental la medición precisa, permanente y estandarizada de los GEI que se emiten en cada país.

Así, en aras de lograr un menor nivel de emisiones de GEI, se hace necesario propender a una labor minera con menores niveles de contaminación, tarea para la cual una medición precisa, metodológicamente consistente y periódica, es fundamental. 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 una línea de trabajo permanente conducente a la cuantificación de las emisiones de GEI.

Para estos efectos, se consideró la información de empresas de la industria del cobre en Chile, reportada a través de la *Encuesta Minera de Producción, Agua y Energía (EMPAE)* que cada año realiza Cochilco y que considera las áreas, etapas y procesos característicos para la producción de concentrados, cátodos, fundición y refinería. Considerando un total de 48 operaciones mineras, entre las que se encuentran gran y mediana minería, fundiciones y refinерías, en el año 2019 llegó al 98,0% de la producción de cobre nacional. Es importante destacar que, a pesar de la pandemia que afecta al mundo, la industria minera se ha mantenido relativamente estable y con mucho esfuerzo ha logrado seguir entregando la información a Cochilco, manteniendo relativamente estable la muestra de análisis.

El trabajo a continuación se distribuye de la siguiente forma: En la sección 2 se presenta la metodología utilizada para realizar la cuantificación de los GEI de la minería, tanto para aquellos directos como indirectos. Luego en la sección 3 se presentan los principales resultados de la medición para las emisiones directas, analizando por tipo de combustible, proceso minero y región. En la sección 4 se presentan los resultados para las emisiones indirectas, también desagregando por proceso minero y región. Finalmente, en la sección 5 se entregan las emisiones totales de la minería del cobre y en la sección 6 están los comentarios finales del informe.

2. Metodología

La medición se realiza en base a los consumos energéticos reportados por las operaciones mineras del cobre en Chile, por medio de la Encuesta Minera Producción, Agua y Energía (EMPAE) que anualmente realiza Cochilco.

La energía es reportada en dos categorías, Combustibles y Energía Eléctrica, considerando la primera principalmente todos aquellos insumos de origen fósil, como el Diésel, el Gas y el Enap 6. Estos son

transformados a unidades energéticas en joules, las cuales son posteriormente convertidas en sus equivalentes en emisiones directas de gases de efecto invernadero. En relación a las emisiones indirectas, corresponden a aquellas generadas por las instalaciones que producen la energía eléctrica utilizada por los procesos de la minería del cobre, omitiendo completamente a aquellas emisiones indirectas que se generan como consecuencia de las actividades que ocurren en fuentes que no son controladas por la organización/empresa.

A continuación se presenta detalladamente la metodología utilizadas para la contabilización de las emisiones contenidas en el documento.

2.1. Metodología de cálculo de GEI Directos

El sistema incluye todos los procesos mineros, desde la extracción del mineral hasta la producción de los concentrados y cátodos de cobre, subdivididos en los siguientes procesos: mina rajo y subterránea, concentradora, proceso hidrometalúrgico (Lx-Sx-Ew), fundición, refinería y servicios (que incluye desalación e impulsión de agua de mar).

Para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero directas se utilizó el correspondiente factor de emisión para cada combustible, de acuerdo a la fracción de carbono oxidado. Para ello se utilizó la metodología prevista por el *International Panel on Climate Change* (IPCC) actualizadas al 2006. En este sentido, los combustibles considerados son Diésel, Kerosene, Petróleo Combustible, Nafta, Gasolina, Gas Licuado, Gas Natural, Carbón y Leña.

Las emisiones de CO₂ se calculan del siguiente modo:

$$EmisionesCO_2 = \sum_j EC_j * FE_j * FOC_j * \frac{44}{12}$$

Donde:

- $EmisionesCO_2$: Emisiones de Carbono (ton. CO₂).
- EC_j : Energía consumida en el combustible j (TJ).
- FE_j : Factor de emisión del combustible j (ton C/TJ).
- FOC_j : Fracción de carbono oxidado de combustible j .
- $44/12$: Relación entre los pesos moleculares del Dióxido de Carbono (CO₂) y el Carbono (C).

Los valores utilizados para el factor de emisión del combustible (FE_j) y la fracción de carbono oxidado (FOC_j) se muestran en la Tabla 1.

¹ Alcance 1: Estas incluyen las emisiones directas procedentes de las actividades que la organización/empresa puede controlar.

² Alcance 2: Estas emisiones hacen referencia a las emisiones indirectas que se generan en las centrales de producción de electricidad como consecuencia del consumo de electricidad que la organización/empresa necesita para su producto y/o servicio.

Tabla 1 Factores de emisión y fracción de carbono oxidado

Tipo de Combustible	Factor de Emisión (tC/TJ, FE)	Fracción de carbono oxidado (FOC)
Diesel	20,2	0,99
Enap 6	21,1	0,99
Kerosene	19,6	0,99
Petróleo Combustible	21,1	0,99
Nafta	20,0	0,99
Gasolina	18,9	0,99
Butano	18,2	0,995
Propano	17,5	0,995
Gas Licuado	17,2	0,995
Gas Natural	15,3	0,995
Carbón	25,8	0,98
Leña	30,0	0,98

Fuente: Cochilco en base a las Directrices GEI de IPCC de 2006 (Cuadro 1.3; Capítulo 1; Volumen 2).

En paralelo, las emisiones de los gases CH_4 y N_2O asociadas al uso directo de cada tipo de combustible expresan en términos de CO_2 equivalente de acuerdo a la siguiente forma:

$$Emisiones_{ij} = \sum_j EC_j * FE_{ij} * PCG_i$$

Donde:

i : Gas CH_4 o N_2O .

$Emisiones_{ij}$: Emisiones del gas i para el combustible j expresadas como emisiones de CO_2 equivalente (ton. CO_2 equivalente).

- EC_j : Energía consumida en el combustible j (TJ).
 - FE_{ij} : Factor de emisión del combustible del gas i para el combustible j (ton C/TJ).
- PCG_{ij} : Potencial de calentamiento global³ del gas i . Corresponde a 21 y 310 para CH_4 y N_2O respectivamente (IPCC 2006).

De acuerdo a la guía GEI 2006, IPCC, los factores de emisión son función del tipo de combustible y del uso que se le ha dado. En la Tabla 2 se indican los factores de emisión para cada gas según tipo de combustible y su uso.

³ Se emplea para convertir este tipo de emisiones a sus equivalentes de CO₂. Generalmente las emisiones de CH₄ y N₂O son menores que las emisiones de CO₂, sin embargo, su potencial de calentamiento global por unidad de masa es mayor. En el caso del metano (CH₄), el potencial de calentamiento global por unidad de masa es 21 veces mayor que en el caso del CO₂ y en el caso del óxido nitroso (N₂O) es 310 veces mayor, es por ello que para expresarlas como emisiones de CO₂ equivalentes se multiplican por esos factores respectivamente.

Tabla 2 Factores de emisión de CH₄ y N₂O

Tipo de Combustible	Uso	Factor de Emisión CH ₄ (Kg/TJ)	Factor de Emisión N ₂ O (Kg/TJ)
Diésel	Vehículos Pesados	4	2
Gasolina	Vehículos Livianos	7,5	43
Enap 6	Secadores / Hornos	1	1,5
Petróleo	Secadores	1	0,6
Diésel	Caldera Industrial	0,2	0,4
Petróleo Combustible	Caldera Industrial	3	0,3
Kerosene	Servicios	2	0,6
Gas Licuado	Servicios	2	0,6
Gas Natural	Caldera	1,4	0,1
Gas Natural	Secadores	1,1	0,1
Carbón	Caldera	1	1,6
Leña	Caldera	30	4

Fuente: Cochilco en base a Guía GEI 2006, IPCC.

2.2. Metodología de cálculo de GEI Indirectas

Para realizar la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero de Alcance 2, se requieren los datos de consumo de electricidad de la industria a nivel de procesos por faenas y los factores de emisión de GEI por unidad de electricidad consumida del Sistema Eléctrico Nacional (tCO₂eq/MWh). En la fórmula siguiente se muestra el cálculo de las mencionadas emisiones para cada sistema interconectado:

$$EI_i = FE_i * \sum_i \sum_j CE_{ij}$$

Donde:

- *EI*: Emisiones de carbono indirectas, en millones de toneladas de CO₂ equivalente.
- *i*: corresponde al sistema interconectado que en este caso puede ser SING o SIC.
- *j*: corresponde a uno de los procesos: Mina, Concentradora, LXSXEW, Fundición, Refinería o Servicios.
- *k*: corresponde al conjunto de faenas mineras que se encuentran conectadas a los sistemas SIC o SING.
- *FE_i*: corresponde al factor de emisión de GEI de la matriz energética del sistema interconectado *i* publicado por el Ministerio de Energía (véase tabla 3).
- *CE_{ijk}*: corresponde al consumo eléctrico del proceso *k*, de la faena *j*, perteneciente al sistema interconectado *i*.

3. Emisión de GEI Directos en la Minería del Cobre en Chile

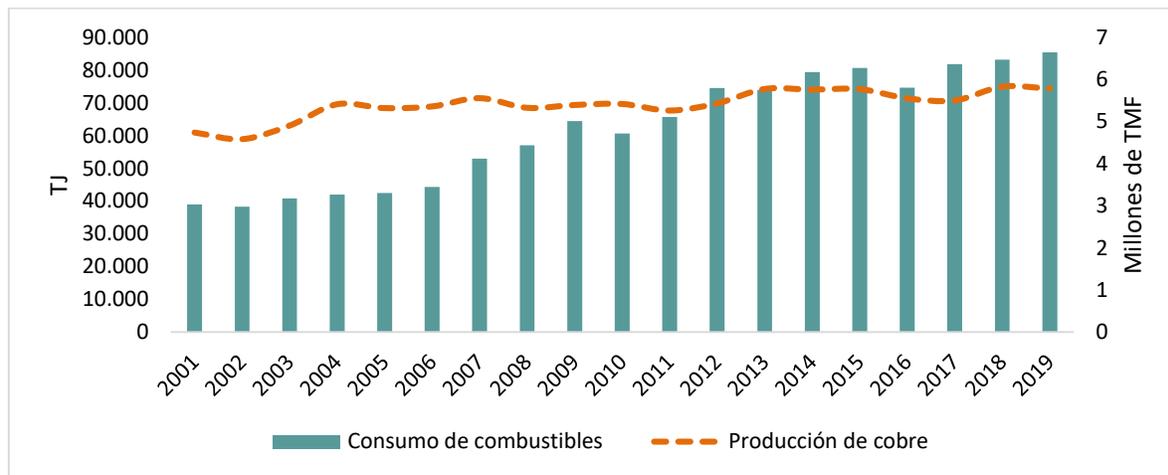
En las secciones 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 se presentan los consumos de combustibles y emisiones asociadas, los tipos de combustibles usados, los procesos mineros asociados y su emisión por región. Junto con ello, se presenta la cuantificación de emisiones de GEI directos siguiendo los mismos criterios.

Luego en la sección 3.5 se presentan los resultados de la estimación de emisiones de GEI directos a nivel unitario, tanto para el nivel de emisiones por tonelada de cobre fino producido, como por unidad de producción en los principales procesos mineros.

3.1. Emisión Total de GEI Directos en la minería del cobre en Chile

El consumo de combustibles en la minería del cobre se ha más que duplicado desde el 2001 en tanto la producción de cobre en igual período se incremento en un 22,1 %. Sin embargo, en los últimos seis años el consumo de combustible se ha mantenido más bien estable, en efecto, entre 2014 y 2019 el consumo de combustibles creció a una tasa anual de 1,6% anual mientras que entre 2001 y 2013 registró un crecimiento promedio anual de 5,7%. En la Figura 1 se presenta la evolución del consumo de energía en base a combustibles en el periodo 2001 – 2019.

Figura 1 Consumo de energía en base a combustibles y producción en la minería del cobre, 2001 – 2019



Fuente: Cochilco.

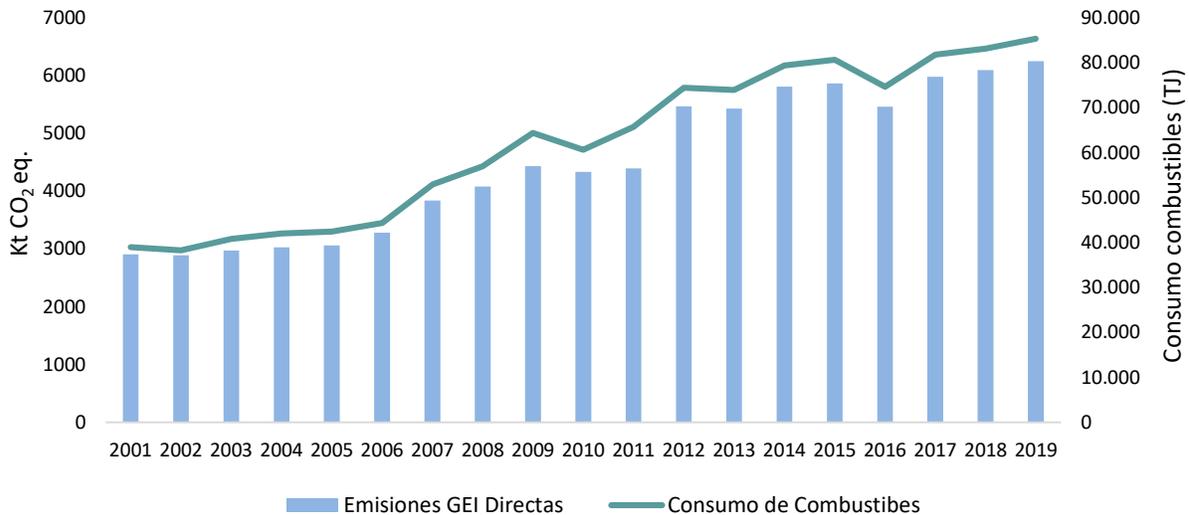
El principal factor que explica las menores tasas de crecimiento en el consumo de combustible entre el 2014 y 2019 es el menor nivel de producción agregada de cobre fino. Esta en el período solo creció a una tasa anual de 0,1% versus el crecimiento de 1,8% anual entre el 2001-2013.

Ahora bien, a pesar de la menor producción agregada de cobre fino, hay aumentos sucesivos en el consumo de combustibles en el proceso de extracción en mina rajo. Cabe señalar, este proceso en el 2019 representó el 80,1% del total de combustibles usados en minería y dentro del proceso mina rajo el consumo de diésel representó el 99,9% de los combustibles usados en este proceso, comparando el diésel usado en mina rajo con el total de diésel usado en los diferentes procesos

mineros, se tiene que para el año 2019, el diésel usado en mina rajo representa un 87,5% del total diésel usado en minería del cobre.

Revisando la evolución de los GEI directos, vemos de la Figura 2 que su tendencia sigue cercanamente a la del consumo de combustibles. Al 2019 alcanzaron un total de 6.252,0 ktCO₂ eq., un 2,6 % más que las emisiones registradas durante el año 2018, lo que implica un aumento de las emisiones en alrededor de 157,3 kt CO₂ eq.

Figura 2 Emisiones de GEI directas y consumo de combustibles de la minería del cobre en Chile, 2001 -2019



Fuente: Cochilco.

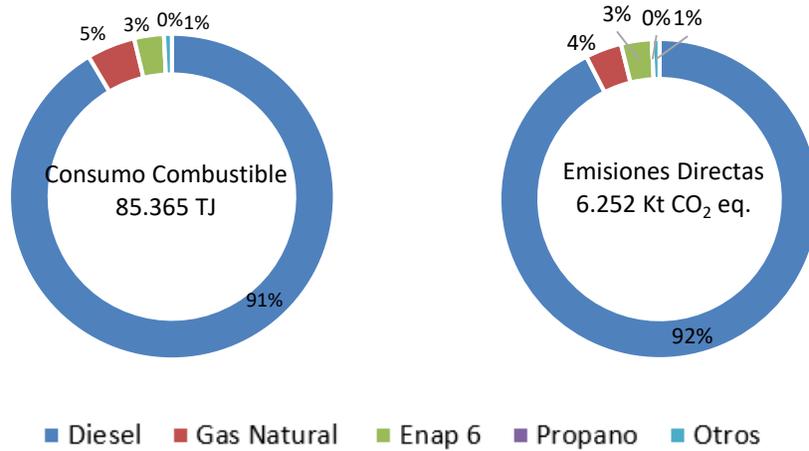
Al analizar el período completo, las emisiones de GEI directas se han duplicado en la minería del cobre aumentando un 115,1% al 2019 versus el ya mencionado aumento de la producción de cobre en igual período en un 22,1 %.

3.2. Emisión de GEI Directos por Tipo de Combustible

Dentro de los tipos de combustibles usados en minería del cobre, en el 2019 se observa que el diésel es por lejos el principal, concentrando el 91,5% del total. A distancia, el uso de Gas natural y Enap 6 representan el 5% y 3% respectivamente.

En la Figura 3 se presenta el consumo por tipo combustible para el año 2019 y su consecuente estimación de emisiones directas. Es así como se observa que el Diésel es responsable del 92% de las Emisiones Directas de la minería del cobre en el 2019, seguido lejos por el gas natural responsable del 5% y el Enap 6 con un 3%. El cambio en los porcentajes de uso y emisiones observados obedece a los mayores factores de emisiones de GEI del Enap 6 (Fuel Oil n°6) y del diésel por sobre el gas natural.

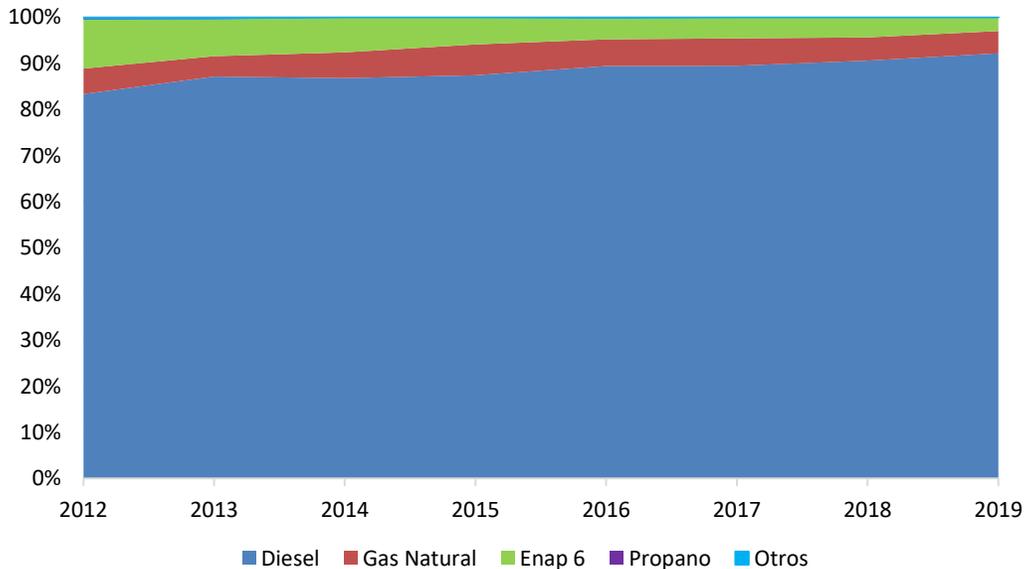
Figura 3 Consumo y emisiones de GEI directas por tipo de combustibles, 2019



Fuente: Cochilco.

El segundo combustible más utilizado en 2019 es el gas natural, como se aprecia en la Figura 4 el cual ha estado estable en los últimos siete años, disminuyendo levemente su participación de 5,5% a 4,8% en el período. El Enap 6 también conocido como Fuel Oil n°6., en el 2019 es el tercer combustible más usado en minería. y en los últimos siete años ha reducido consistentemente su participación en el conjunto de combustibles en la minería, pasando de contribuir el 10,4% del aporte energético por combustibles en 2012 a sólo un 3,0% en 2019. En tanto el diésel ha ido ganando participación en los combustibles usados en minería de 82,4% a 91,5 % entre el 2012 y 2019.

Figura 4 Participación en el consumo de combustibles en la minería del cobre en Chile, 2012-2019



Fuente: Cochilco.

El reemplazo del Enap 6 por gas natural o diésel ha disminuido en alguna medida las emisiones de GEI producto de la utilización de un insumo considerablemente más contaminante que nace del remanente del crudo luego que la gasolina y los fueloil destilados son extraídos a través de la destilación.

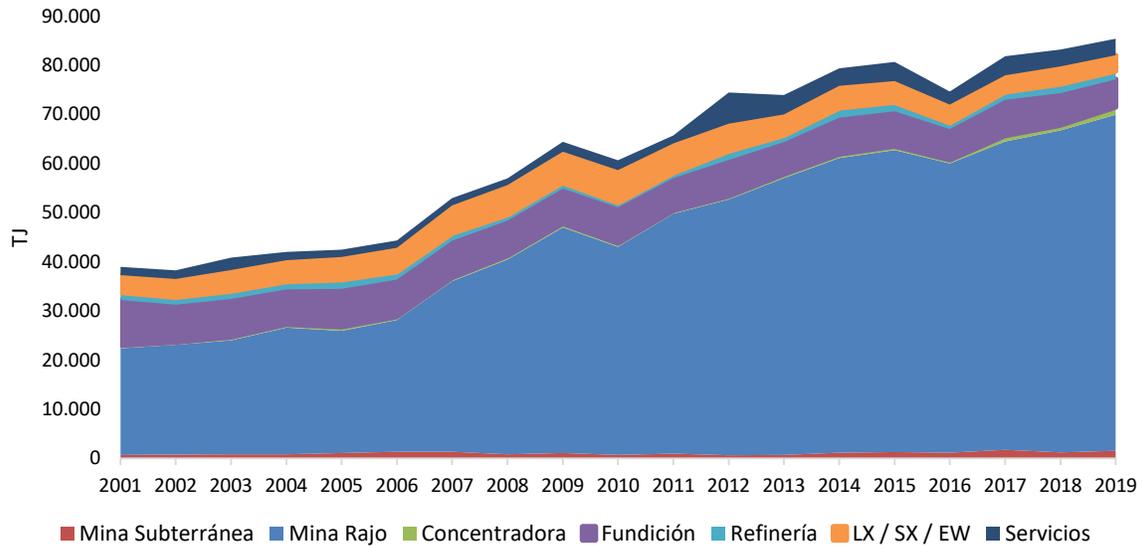
3.3. Emisión de GEI Directos por Proceso en la minería del cobre en Chile

Antes de analizar las emisiones de GEI por proceso, es conveniente revisar el consumo de combustibles por proceso. En la Figura 5, se presenta el consumo agregado de energía en base a combustibles por proceso minero entre los años 2001 y 2019.

El proceso de extracción de mina rajo, que representa el 80,09% de los requerimientos de combustible de la minería en 2019, entre los años 2001 y 2019, ha triplicado prácticamente su consumo de combustible. Esto se explica por un lado por el incremento del 22,1 % de la producción de cobre entre 2001-2019, lo que conlleva un mayor procesamiento de mineral, debido a temas estructurales como el envejecimiento de las minas, lo que se traduce en 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 para sostener un volumen de producción y también 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 nivel global, el aumento de demanda de combustible ha sido de un 1,6% anual entre 2014 y 2019, aumento considerablemente menor que el crecimiento anual de 5,7% entre 2001 y 2013, ello se puede explicar tomando 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, sus distancias y pendientes de acarreo van aumentando, tanto de los minerales como de los materiales estériles, con el consiguiente aumento de consumo de combustibles.

El combustible más utilizado en el proceso de mina rajo es el diésel (99,9 % del total de combustibles usados en mina rajo en 2019), principal insumo de los camiones extractores de mineral y que tiene un alto nivel de emisión de CO₂ eq. Con todo, con el acelerado desarrollo de la tecnología de hoy, ya se está hablando en un futuro de introducir electro movilidad en minería y también de tener camiones que usen hidrógeno, hidrógeno que en Chile podría producirse a partir de la energía solar, lo cual abriría un conjunto de opciones a la gran minería en materia económica y ambiental, traduciéndose obviamente en menores emisiones de CO₂ equivalente en el mediano y largo plazo.

Figura 5 Consumo de combustibles por proceso minero, nivel nacional 2001 – 2019

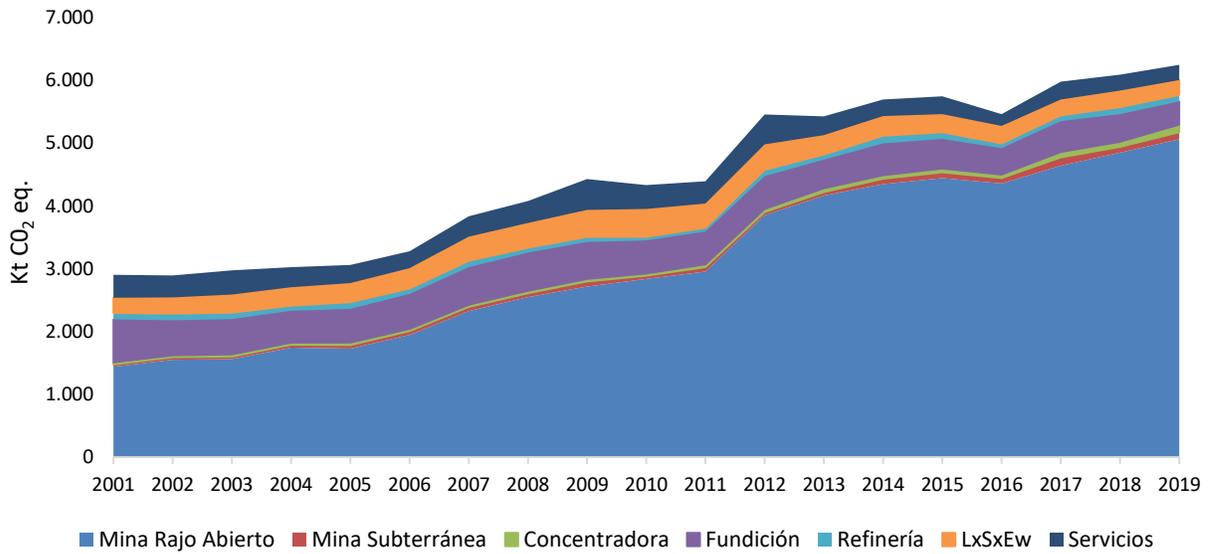
Fuente: Cochilco

En cuanto al proceso de Fundición, este registró en el 2019 el segundo mayor consumo de combustibles con el 6,6% del total, no presentando variaciones significativas en su consumo nominal en relación a años previos. Esto se debe al nulo crecimiento en la capacidad instalada en esta etapa de proceso, pues desde el término del comisionamiento de la fundición Chagres en 2002, no se han registrado cambios significativos en la capacidad de tratamiento de mineral. Lo anterior a pesar de que en 2016 Chagres, Altonorte y Ventanas debieron cumplir con la norma de emisiones de 2013, que para el año 2016 fijó límites máximos para el azufre y el arsénico (cada fundición deberá capturar al menos el 95% de ambos). Ya para el 2018 esta norma se hace extensible a las fundiciones de Chuquicamata, Potrerillos, Hernán Videla Lira y Caletones. Si bien estos contaminantes con mejoras en captación no son GEI, es esperable que igualmente contribuyan a reducir las emisiones de CO₂ debido a que la captura de ambos implicará, por arrastre, la captura de CO₂¹. Al mismo tiempo, se contempla al 2025 la construcción de una nueva fundición para Hernán Videla Lira, que tendrá niveles de emisión aún menores (deberá capturar al menos el 98% del azufre y el 99,97% del arsénico), lo que a su vez redundará en menores emisiones de CO₂.

Como resultado, y tal como se ha comentado anteriormente, las emisiones de GEI directos por proceso siguen cercanamente al consumo de combustibles en cada proceso. En efecto, la Figura 6 nos muestra que el proceso con mayores emisiones de GEI es la extracción desde mina rajo, siendo responsable de 5.061,5 mil toneladas de CO₂ equivalente en 2019, un 4,4% más que lo cuantificado en el año 2018 y representando el 81,0% de las emisiones de GEI de la minería del cobre en el 2019.

¹ La captura de azufre y arsénico trae como efecto secundario la captura de otros gases que si pueden contribuir a los GEI, ya que es económicamente costoso y carente de sentido práctico separar sus capturas.

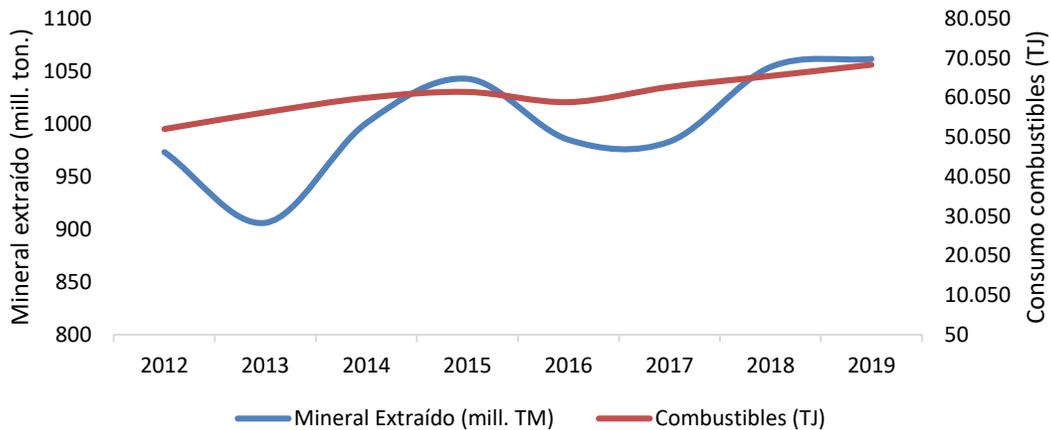
Figura 6 Emisiones de GEI directos de la minería del cobre por proceso, 2001 – 2019



Fuente: Cochilco.

Sin embargo, como se aprecia en la Figura 7, si bien el mineral extraído desde la mina rajo ha presentado fluctuaciones positivas y negativas desde el 2012, el consumo de combustibles en general ha tendido al alza en cada año, sosteniendo la tesis de que mayores consumos de energía se deben a mayores distancias de acarreo desde el punto de extracción hasta la planta de proceso.

Figura 7 Mineral extraído y consumo de combustibles en mina rajo, 2012 – 2019



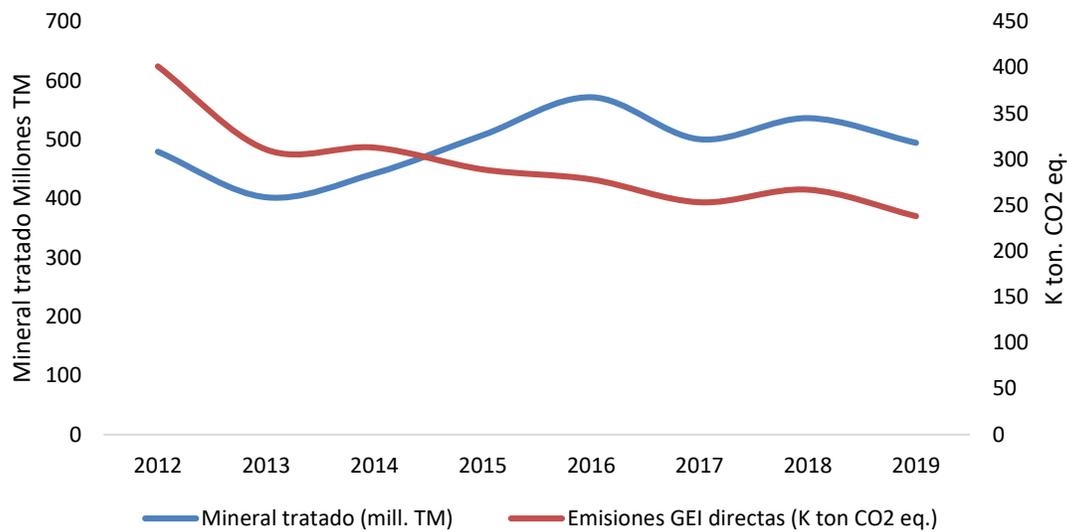
Fuente: Cochilco

Las emisiones directas provenientes de este proceso fueron de 5.062 Kton de CO₂ eq., representando el 81,0% del total de GEI directos de la industria minera del cobre chilena en el 2019 y dado lo planteado en el párrafo anterior, se estima siga incrementando su peso relativo, de no incorporarse medidas como la sustitución del diésel como insumo primario o mejoras tecnológicas.

Luego, en el proceso de fundición de cobre se cuantifican 373.4 mil toneladas de CO₂ durante 2019 y equivalente al 6,0% del total de emisiones de GEI directos de la minería del cobre en Chile.

Finalmente el tercer proceso en importancia de emisiones de GEI directos es el de Lx-Sx-Ew con 238,2 mil toneladas de CO₂ emitidas en 2019, lo que equivale al 3,8 % del total de emisiones directas. Como se aprecia en la Figura 8, este proceso ha registrado sucesivas bajas en los niveles de emisiones en el último quinquenio a pesar de que el mineral tratado en las plantas de lixiviación en general ha aumentado, debido a las menores leyes. La razón, se debe a un reemplazo del diésel utilizado por otras fuentes de energía, como la electricidad y también ha contribuido al reemplazo, el uso de la energía termosolar en el calentamiento de las soluciones.

Figura 8 Mineral tratado y emisiones directas de CO₂ equivalente en Lx-Sx-Ew, 2012 – 2019

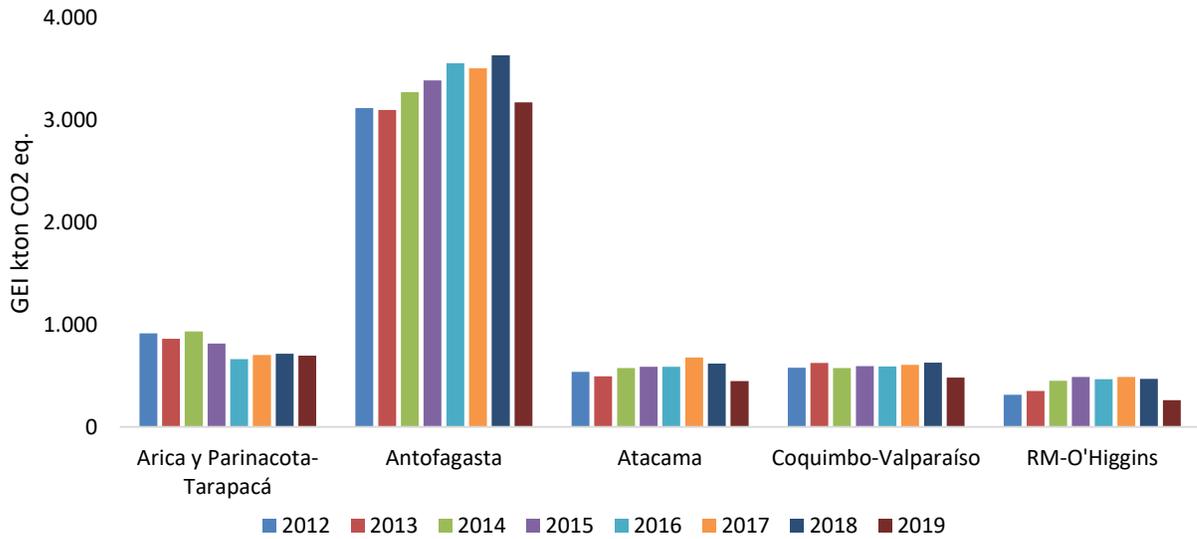


Fuente: Cochilco.

3.4. Emisión de GEI Directos por Región en la minería del cobre en Chile

En la Figura 9 se presenta la evolución de las emisiones de GEI directos asociados a la minería del cobre desde el 2012 al 2019 por región. Antofagasta es por lejos la región con mayor nivel de emisiones, con 3.702.1 kt de CO₂ equivalente por GEI directos durante 2019, representando así el 62,7% del total GEI minero. Esto debido a que en la región se concentran las mayores operaciones de minas a rajo abierto del país, como Escondida, Chuquicamata y Sierra Gorda, lo que implica que más del 60% de la producción de mina rajo provenga de la segunda región.

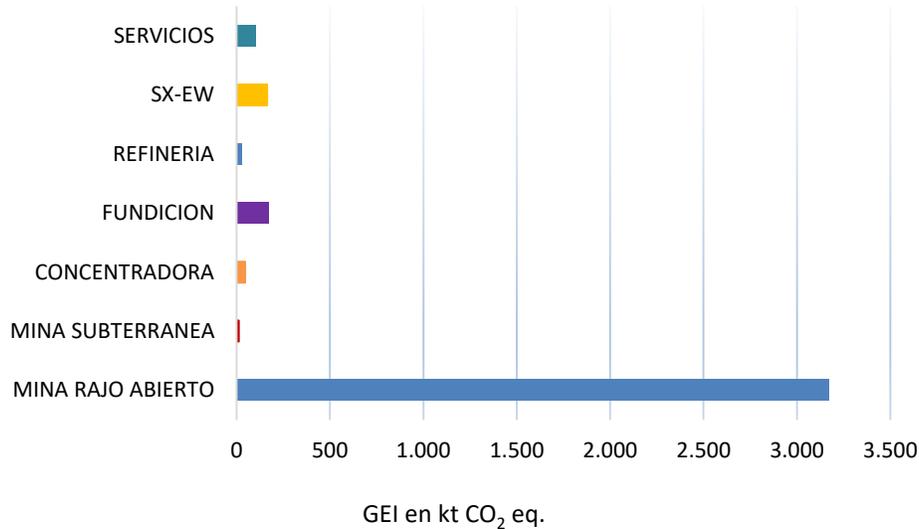
Figura 9 Emisiones de GEI directas por región 2012-2019



Fuente: Cochilco.

Al analizar las emisiones de GEI directas por proceso en la región de Antofagasta, se observa en Figura 10 que la mina rajo es el proceso que mayores emisiones tiene con 3.171,6 kt CO₂ equivalente durante el 2019, lo cual representa el 85,7% de las emisiones directas de GEI de la región.

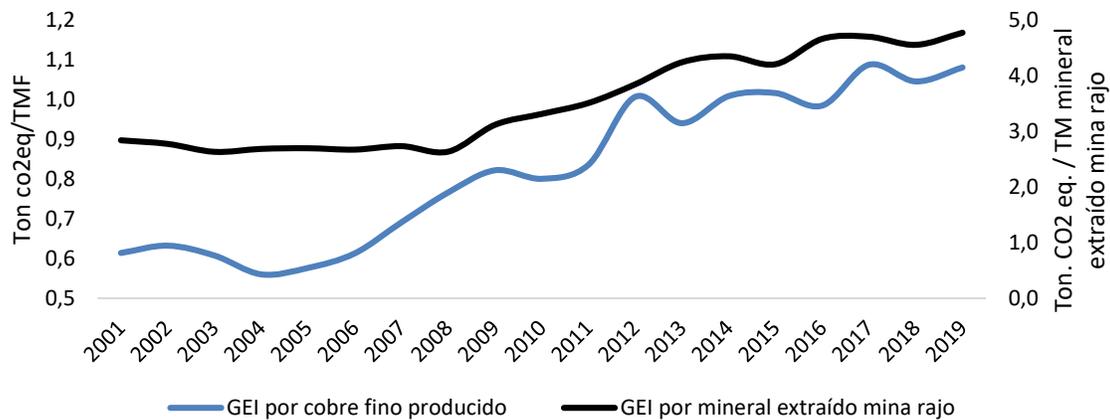
Figura 10 Emisiones de GEI directas por proceso en región de Antofagasta 2019



3.5. Coeficientes Unitarios de emisión de GEI directos en la minería del cobre en Chile

Como se aprecia en la Figura 11, en general las emisiones directas de CO₂ equivalente tanto por cobre fino producido como por mineral extraído en mina rajo han ido en progresivo aumento desde el año 2011 al presente. En consecuencia, se infiere que la mayor producción de cobre no es el único factor responsable del mayor nivel de emisiones, sino que existen factores estructurales de la minería nacional que inciden en los niveles de contaminación, siendo el envejecimiento de las minas el principal. Esta situación involucra yacimientos más profundas (y por ende una mayor distancia de acarreo desde las minas hasta las plantas de procesamiento) y menores leyes del mineral (lo que implica una mayor extracción de mineral para producir la misma cantidad de cobre).

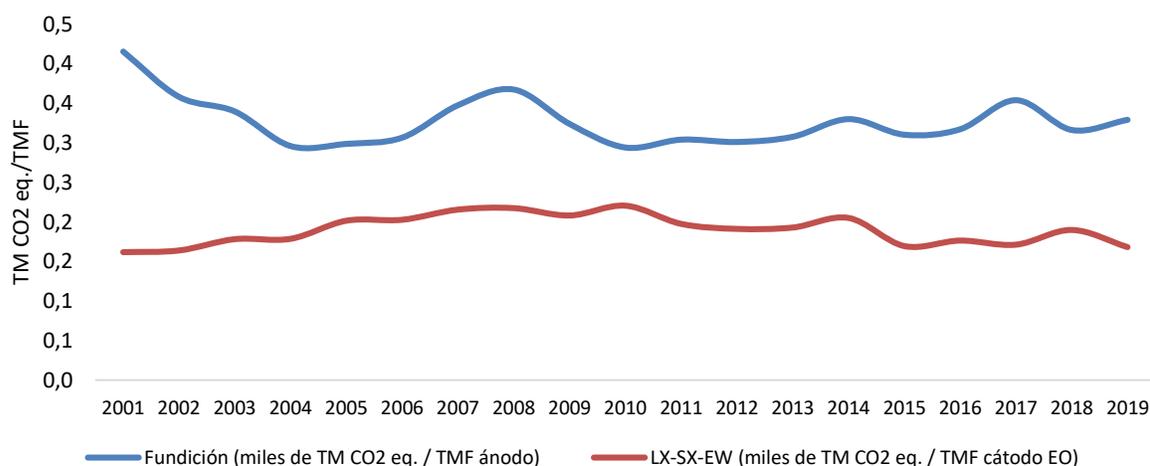
Figura 11 Emisiones de GEI directos por tonelada de cobre fino, 2001 – 2019



Fuente: Cochilco.

A pesar de la menor producción nominal de cobre fino en Chile, para el año 2019 se registraron 1,08 toneladas de CO₂ equivalente por tonelada de cobre fino producido. En la misma figura se presenta la evolución del proceso con mayor emisión de GEI directos, el de mina rajo. A nivel unitario este proceso en el año 2019 alcanzó las 4,8 toneladas de CO₂ equivalente por tonelada de mineral extraído. Este indicador omite las implicancias de una menor ley de mineral, por lo que el incremento se asocia al aumento del consumo de combustibles producto de las mayores distancias de acarreo y profundidad relativa de extracción.

Los procesos que siguen en relevancia de emisiones de GEI directos son los de Fundición y Lx-Sx-Ew. En relación a las Fundiciones, el coeficiente unitario de GEI directas por kilo tonelada de cobre fino contenido en Blíster/Ánodos alcanzó las 0,33 toneladas de CO₂ equivalente en el año 2019, indicador similar al promedio sostenido de los últimos 17 años de 0,33. A su vez, el proceso de Lx-Sx-Ew, presenta un coeficiente de 0,17 toneladas de CO₂ equivalente por cada tonelada de cátodo electro obtenido, también similar al promedio del todo el periodo, equivalente a 0,19 (véase Figura 12).

Figura 12 Emisiones de GEI directos por cobre fino contenido en Fundición y Electro-obtención, 2001 -2019

Fuente: Cochilco

4. Emisión de GEI Indirectos en la Minería del Cobre en Chile

En esta sección, se muestran los principales resultados del consumo de energía eléctrica de la minería del cobre en Chile y su respectiva emisión de GEI Indirectos en toneladas de CO₂ equivalente.

En primer lugar se presentan los datos agregados de consumo de energía eléctrica en la minería del cobre en Chile y su consecuente estimación de emisiones de gases de efecto invernadero indirectos para el periodo 2001 – 2019. Luego se presentan los indicadores de consumo eléctrico y emisiones por proceso de producción para el mismo rango de tiempo. Finalmente se exponen los resultados de la cuantificación de emisiones de GEI indirectos a nivel regional.

4.1. Sistema Eléctrico Nacional

Desde el año 2018 el suministro de electricidad de la minería del cobre proviene 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) para el centro sur del país y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) para el norte grande de Chile. Hasta el año 2017 el Ministerio de Energía publicaba los factores de emisión promedio para los sistemas interconectados SING y SIC, donde variaban dependiendo del tipo de generación eléctrica que entra al sistema. En la Tabla 3 se muestran los factores de emisión para el SING y SIC en el periodo 2010 – 2019.

Las emisiones de CO₂ equivalente relacionadas con el consumo de electricidad están directamente relacionadas con la composición de la matriz energética del sistema eléctrico nacional, variando según el tipo de generadoras. En este sentido, mientras mayor sea la participación de generación

utilizando combustibles fósiles, como por ejemplo el carbón y el gas natural, mayores serán las emisiones de GEI emitidas a la atmósfera debido al consumo eléctrico.

Tabla 3 Factores de emisión de GEI según Sistema Interconectado y SEN

Año	SIC (tCO ₂ eq/MWh)	SING (tCO ₂ eq/MWh)	SEN (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

Fuente: Ministerio de Energía.

Como se puede apreciar, comparativamente el menor valor del factor de emisión del SIC respecto del SING, se explicaba porque el SIC tenía una matriz de generación más diversificada con generación eléctrica hidráulica y de energías renovables no convencionales entre otras, mientras que en el SING la generación era en gran parte térmica.

Al materializarse la interconexión completa de los sistemas de suministro de energía SING y SIC en el 2018, los factores de emisión de cada sistema se fusionaron dando paso a un único factor de emisión del ahora gran suministrador de energía nacional, el SEN.

Es así como para el 2018, el factor de emisión publicado por el ministerio de energía para el SEN es de 0,4187 tCO₂ eq/MWh, que es un 45,8% menor que el factor de emisión del SING y un 24,5% que el factor de emisión del SIC en el año 2017. En el 2019, el factor de emisión para el SEN es de 0,4056 tCO₂ eq/MWh, que es un 47,58% menor que el factor de emisión del SING y un 20,6% que el factor de emisión del SIC en el año 2017 y un 3,1% menor que factor de emisión del SEN en 2018.

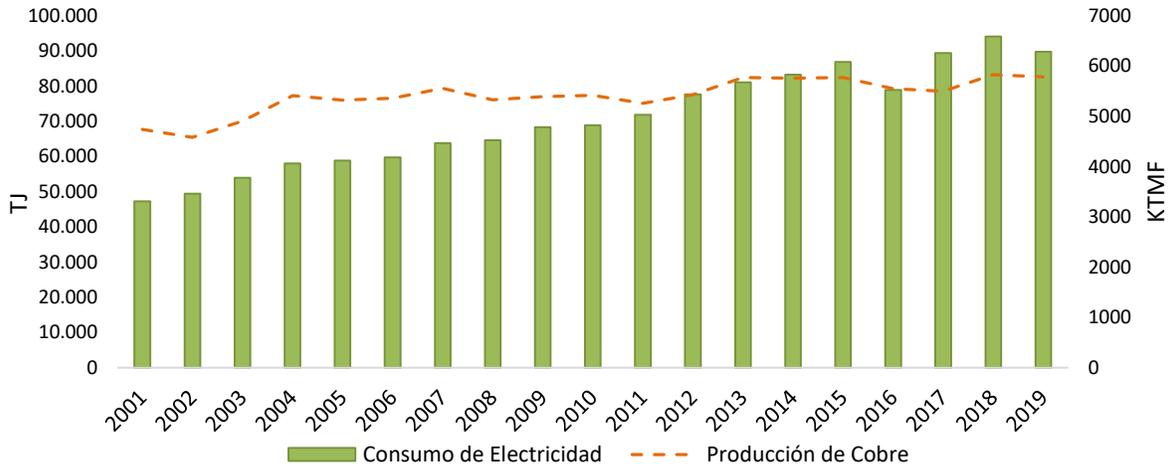
4.2. Emisión Total de GEI Indirectos en la minería del cobre en Chile

Las emisiones de GEI indirectos de la minería del cobre en Chile, y de otras industrias es el resultado del consumo total de electricidad y de la composición de la matriz nacional de generación eléctrica al que está conectado, la cual se compone de fuentes altas en emisiones como las termoeléctricas a carbón o diésel, la energía hídrica, así como también de energías renovables no convencionales con nula o bajos niveles de expulsión de GEI.

En la Figura 13 se presenta el consumo de energía eléctrica para la minería del cobre en Chile entre los años 2001 y 2019 y se observa que el consumo de electricidad ha aumentado un 89,9% en tanto la producción de cobre en igual período se incrementó en un 22,1%. Durante todo el periodo se registró una tasa de crecimiento anual en el consumo de electricidad de un 4,1%. 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.

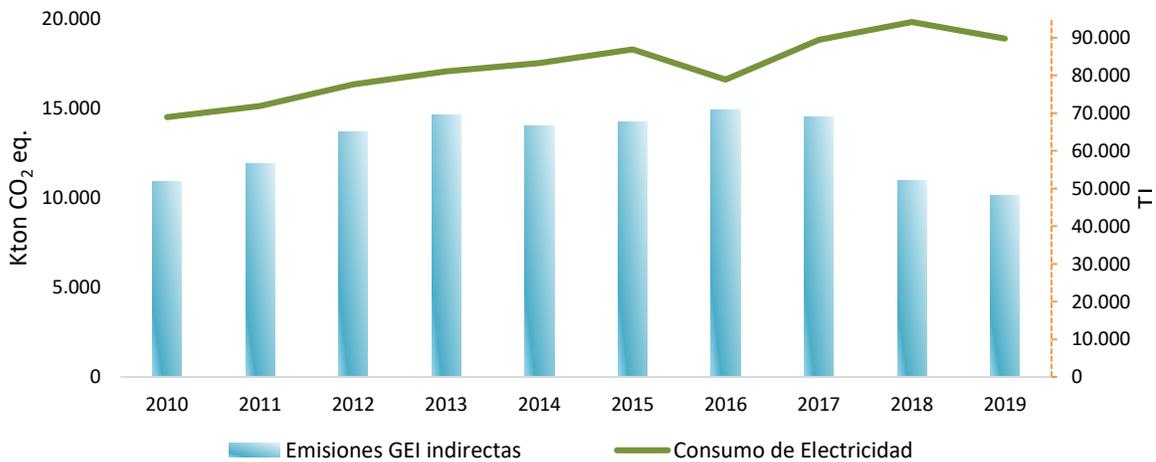
Figura 13 Consumo de energía eléctrica en la minería del cobre, 2001 – 2019



Fuente: Cochilco.

En la Figura 14 se observa la evolución de las emisiones de GEI directas entre el año 2010 al 2019. En el año 2019 la minería del cobre en Chile emitió un total de 10.114,0 kilo toneladas de CO₂ equivalente, corresponde a una disminución de 24,6% respecto del año 2017. El principal factor detrás del menor nivel de GEI indirectos reside en una baja importante en el factor de emisión del SEN (-45,8%) con respecto al factor de emisión del SING en el 2017, sistema del que se suministraba la mayor parte la minería del cobre.

Figura 14 Emisiones de GEI indirectas y consumo de electricidad de la minería del cobre en Chile, 2010-2019



Fuente: Cochilco

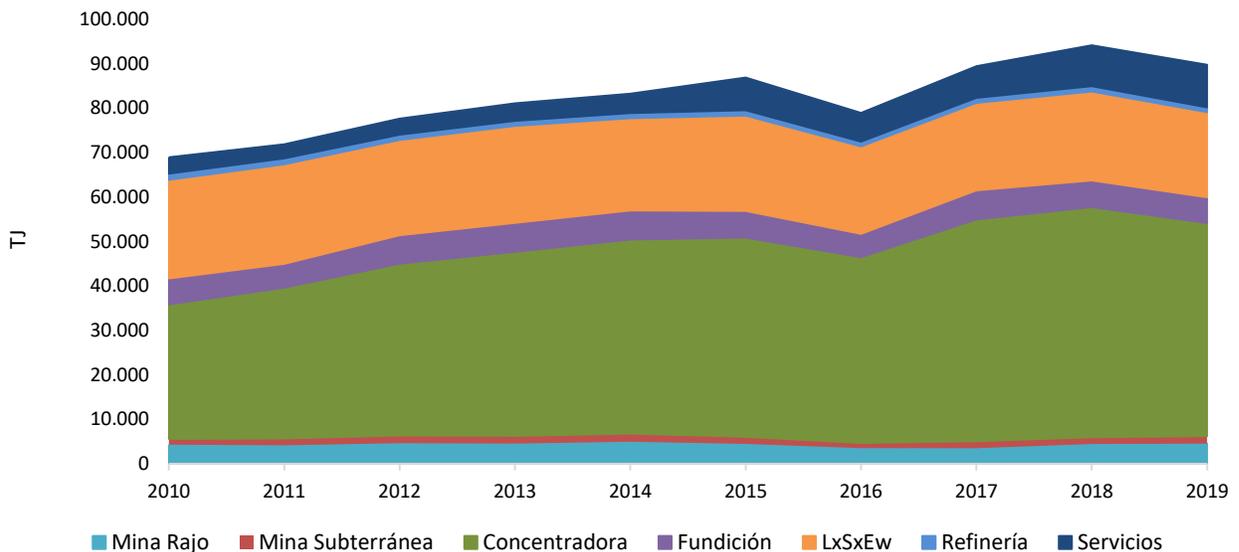
Al analizar el período completo, las emisiones de GEI indirectas al 2019 son un 7,3% menor al año 2010, en tanto el consumo de electricidad aumentó un 30,2% y el de producción de cobre fino en un 6,8% en el mismo período. Es así como se puede observar el fuerte impacto que tuvo el nuevo

coeficiente de emisión del SEN en los cálculos de emisiones indirectas para la minería del cobre. Este coeficiente de emisión nacional se espera además vaya bajando a futuro a medida que se integren más fuentes de energías renovables en la matriz energética nacional.

4.3. Emisión de GEI Indirectos por proceso en la minería del cobre en Chile

En la Figura 15 se presenta la evolución del consumo eléctrico por proceso en la minería del cobre. Se aprecia que el proceso de concentradora ha sido el más demandante y el con mayor crecimiento de la demanda en todo el periodo. Entre el 2010 al 2019 la producción de concentrados aumentó en un 26,3%, en tanto el proceso de concentración aumentó un 58,4% su consumo de electricidad llegando a representar un 53,4% del total de electricidad consumida en la minería del cobre en el año 2019. Este aumento de consumo de electricidad en la concentración se debe principalmente al chancado y molienda dada la mayor dureza de la roca, mayor volumen de mineral procesado en plantas concentradoras y al incremento sostenido de la producción de concentrados.

Figura 15 Consumo de electricidad por proceso minero, 2010 – 2019



Fuente: Cochilco

El proceso de electro-obtención es el segundo proceso de mayor relevancia en su consumo eléctrico representando en el 2019 el 21,4% del consumo eléctrico de la minería del cobre. Entre el 2010 al 2019, la producción de cátodos disminuyó en un 24,3% mientras el consumo de electricidad en electro-obtención se ha mantenido relativamente constante disminuyendo un 13,6% en el período analizado.

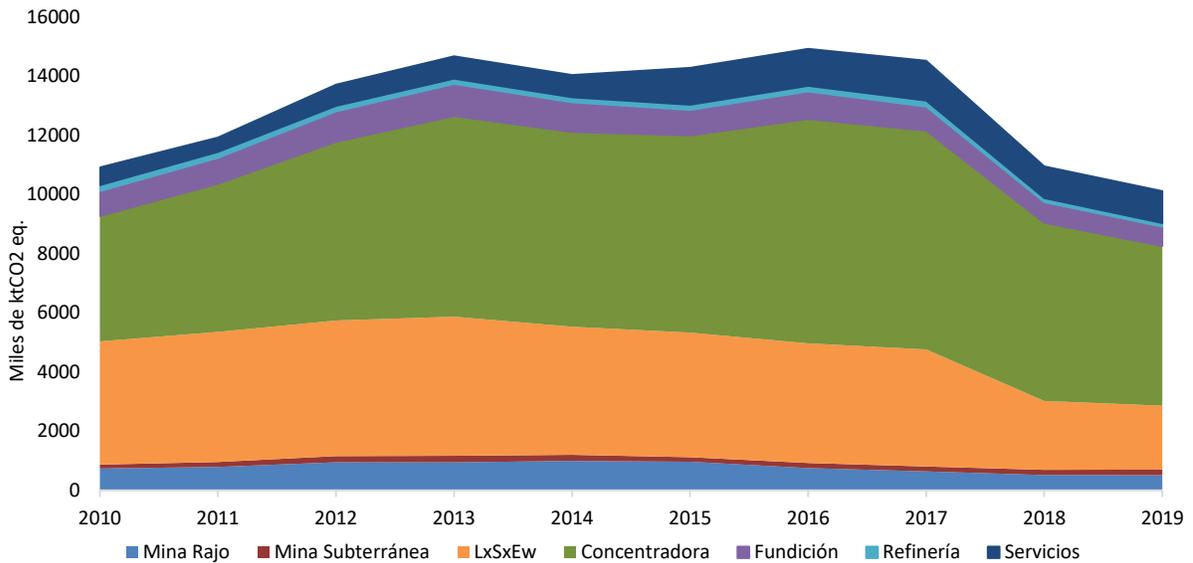
Por otro lado, el progresivo aumento del consumo eléctrico del sector Servicios en los últimos años, que si bien en el 2019 representa un 10,7% del total de electricidad consumida en minería del cobre, ha crecido entre el 2010 y 2019 en un 160,5% debido a la creciente demanda eléctrica de sistemas de desalación de agua de mar y especialmente su impulsión a las faenas mineras, procesos altamente intensivos en energía eléctrica.

Dado el comportamiento descrito previamente en el consumo de energía eléctrica, en los distintos procesos de la industria cuprífera, se estiman las emisiones de GEI indirectos asociados a cada uno, los cuales se presentan en la Figura 16.

Al 2019 el proceso de concentración registro un total de 5.401,6 mil toneladas de CO₂ equivalente, lo que corresponde a una baja de 8,4% respecto del año 2018. Considerando que este proceso hasta el año 2017 se suministraba del SING en un 48% aproximadamente, este sistema tenía en ese año un coeficiente de emisión un 47,6% mayor que el actual SEN, es así como se explica la baja de emisiones de este proceso en el 2019. En términos de participación, en el 2019 el proceso representa el 53,4% de las emisiones GEI indirectas de la minería del cobre.

Por otro lado, el proceso de Electro-obtención ha ido disminuyendo sus emisiones progresivamente entre el 2010 y 2017 en un total del 5,0%, pasando de 4.166,1 mil toneladas de CO₂ equivalente en 2327,9 en 2017. En el año 2019 el proceso de Electro-obtención registro un total de 2.161,1 mil toneladas de CO₂ equivalente, lo que corresponde a una baja de 2,2% respecto del año 2018.

Figura 16 Emisiones de GEI indirectas por procesos, 2010 – 2019



Fuente: Cochilco.

En cuanto al ítem de Servicios, durante 2019 disminuyó el nivel de emisiones en un 19,7% respecto de 2018, con lo que alcanzó un total de 1.080,9 mil toneladas de CO₂ equivalente, lo que representa el 10,7% de las emisiones GEI indirectas totales de la minería del cobre. Al igual que los demás procesos, el nivel de emisiones disminuyó respecto al 2018 básicamente por el impacto del nuevo factor emisión del SEN que es menor respecto al 2018. Señalado lo anterior, en este punto es necesario mencionar que el ítem Servicios se estima continuará aumentando su participación relativa en la cuantificación de emisiones indirectas, a medida que nuevos proyectos de desalinización e impulsión de agua de mar se lleven a cabo por las empresas mineras. Esto debido a que el incremento de producción de concentrados de cobre y las restricciones al uso de agua

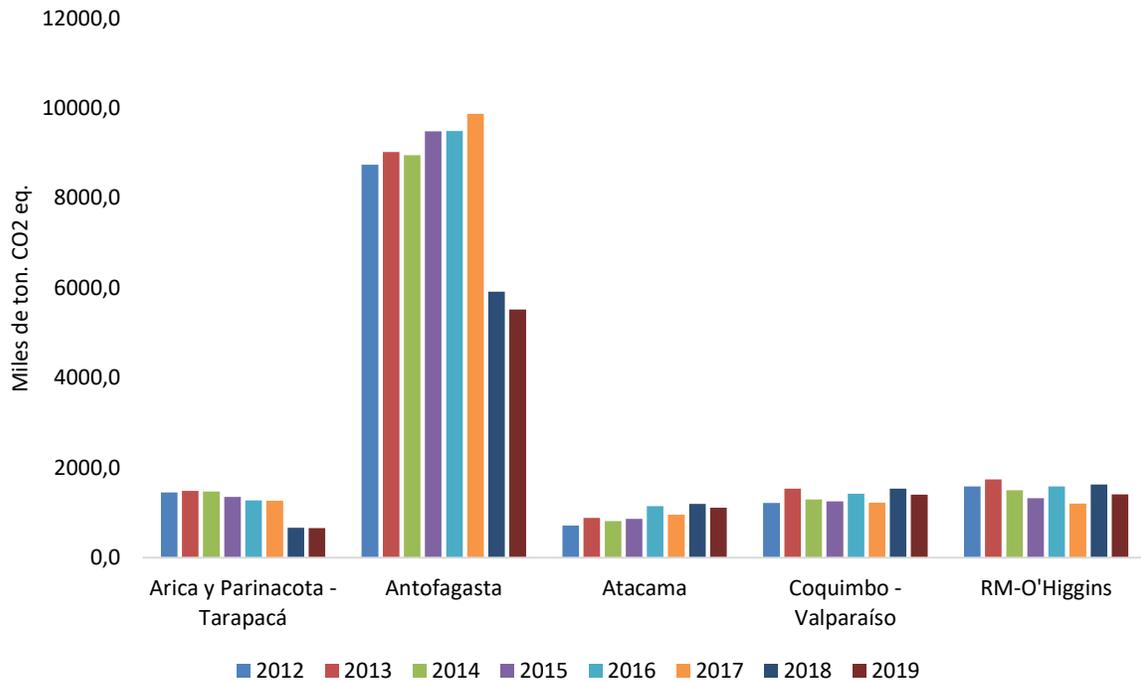
continental en el norte chileno ha motivado el uso de agua de mar como solución viable para dar sustentabilidad al negocio minero.

4.4. Emisión de GEI Indirectos por Región en la minería del cobre

En la Figura 17 se presentan las emisiones de CO₂ equivalente asociadas al consumo eléctrico regional entre los años 2012 y 2019. Cabe señalar, que este año 2019 es que todas las regiones tienen un mismo factor de emisión de 0,4056 tCO₂ eq/MWh perteneciente al SEN, en tanto hasta el 2017, Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta estaban conectadas al SING (que tenía un factor de emisión de un 48% mayor que el SEN) y Atacama, Coquimbo, Valparaíso y O'Higgins al SIC (que tenía un 21% menor que el del SEN en el año 2017).

Por tanto es de esperar que este hecho ha "mejorado" en términos de emisiones a las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta y "afectado" a las regiones de Atacama, Coquimbo, Valparaíso y O'Higgins. Al observar Figura 18 se muestra que Antofagasta sigue liderando el nivel de emisiones en línea con su mayor producción cuprífera y consumo eléctrico, registrando emisiones de GEI indirectos en 2019 por un total de 5.524,8 mil toneladas de CO₂ equivalente, lo que representa un 54,6% del total de emisiones de GEI indirectos de la minería del cobre. En tanto, las regiones Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins emitieron en conjunto 1.411,4 mil toneladas de CO₂ equivalente (14,0% del total de emisiones de GEI indirectas de minería del cobre), nivel cercano a Coquimbo –Valparaíso que tiene 1.403,6 mil toneladas de CO₂ equivalente (13,9% del total), le sigue Atacama con 1.111,5 mil toneladas de CO₂ equivalente (11,0% del total), y finalmente Arica y Parinacota –Tarapacá con 662,7 mil toneladas de CO₂ equivalente (6,6% del total). Este último subconjunto de regiones de Arica y Parinacota –Tarapacá, en el 2019 son "beneficiadas" en términos de emisiones comparativamente, puesto el 2017 tenían el segundo lugar con mayor nivel de emisiones después de Antofagasta, en tanto en el 2018 ocupan el último lugar.

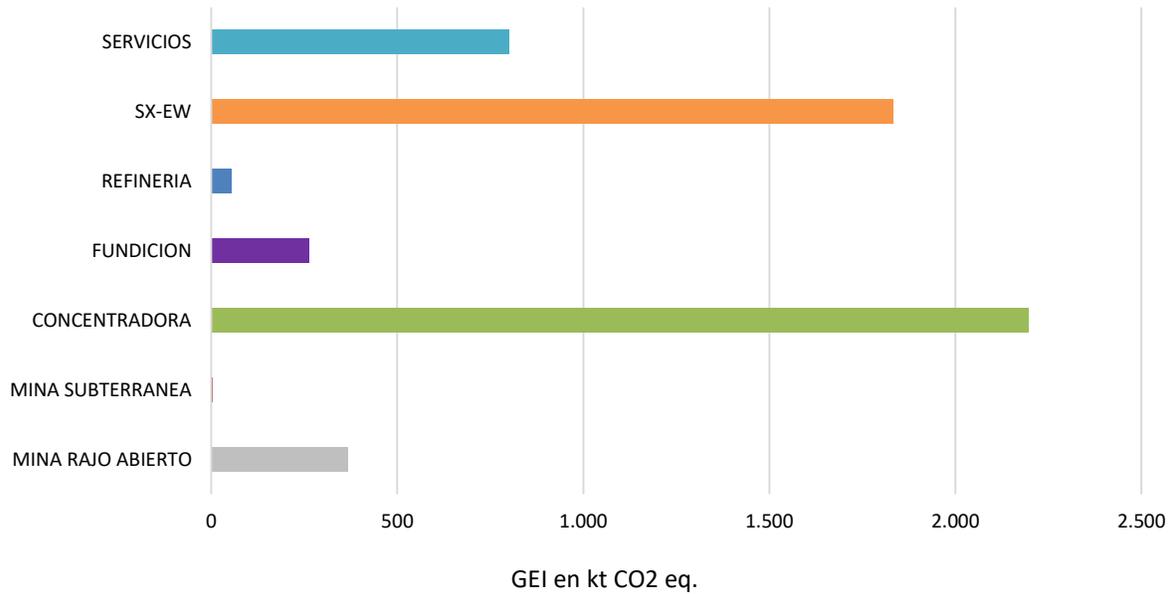
Figura 17 Emisiones indirectas en la minería del cobre por región, 2012-2019



Fuente: Cochilco.

Al analizar las emisiones de GEI indirectas por proceso en la región de Antofagasta, se observa en Figura 18 que el proceso de concentración es el proceso que mayores emisiones tiene con 2.198,2 mil toneladas de CO₂ equivalente durante el 2019, lo cual representa el 39,8% de las emisiones indirectas de GEI de la región. El otro proceso importante en cuanto a nivel de emisiones en la región es el de Electro obtención con 1.833,5 mil ton CO₂ equivalente durante el 2019, lo cual representa el 33,2% de las emisiones indirectas de GEI de la región.

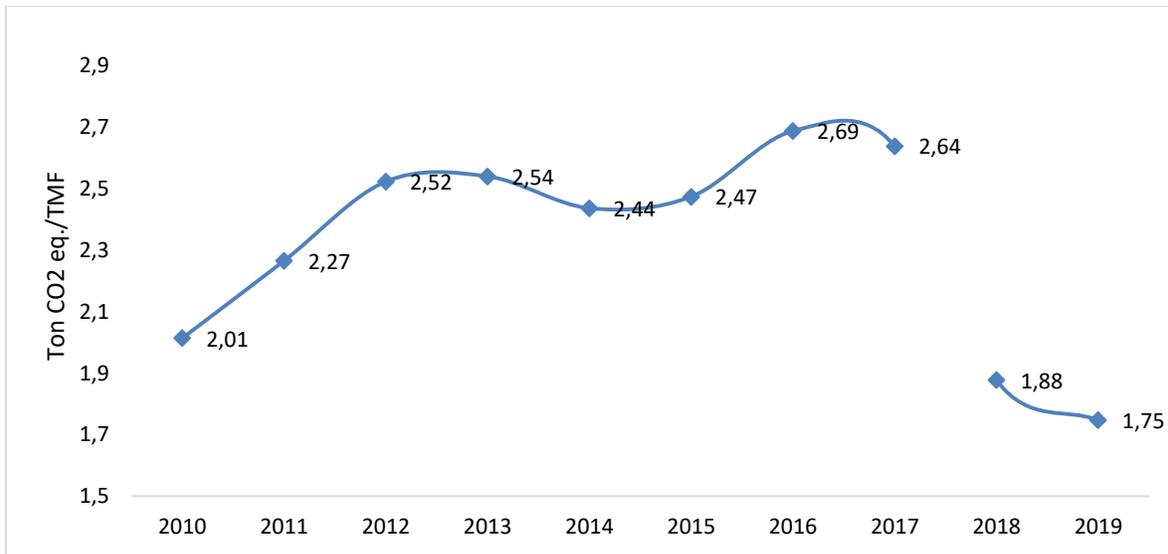
Figura 18 Emisiones de GEI indirectas por proceso en región de Antofagasta 2019



Fuente: Cochilco

4.5. Coeficiente Unitario de emisión de GEI indirectos en la minería del cobre en Chile

En la Figura 19 se presenta un indicador global de las emisiones de GEI de la minería del cobre a nivel nacional que es el coeficiente unitario de emisiones indirectas de GEI en toneladas de CO₂ equivalente por tonelada de cobre fino producido. Al 2019 este indicador alcanzó un valor de 1,75 ton CO₂ eq por cobre fino producido, lo cual es un 33,8% menos que en 2017 y un 6,9% menos que en 2018. Los motivos de este decrecimiento se vinculan principalmente con la caída en el factor de emisión en el nuevo SEN, como vimos previamente.

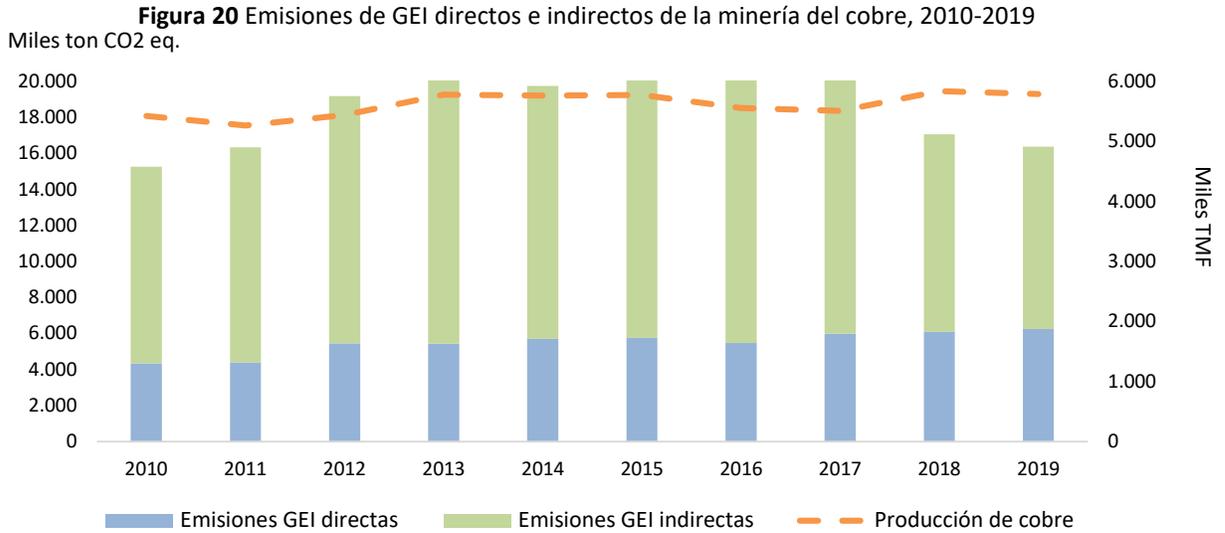
Figura 19 Coeficiente unitario global de GEI indirectos en la minería del cobre en Chile

Fuente: Cochilco

5. Emisión de GEI Totales en la minería del cobre en Chile

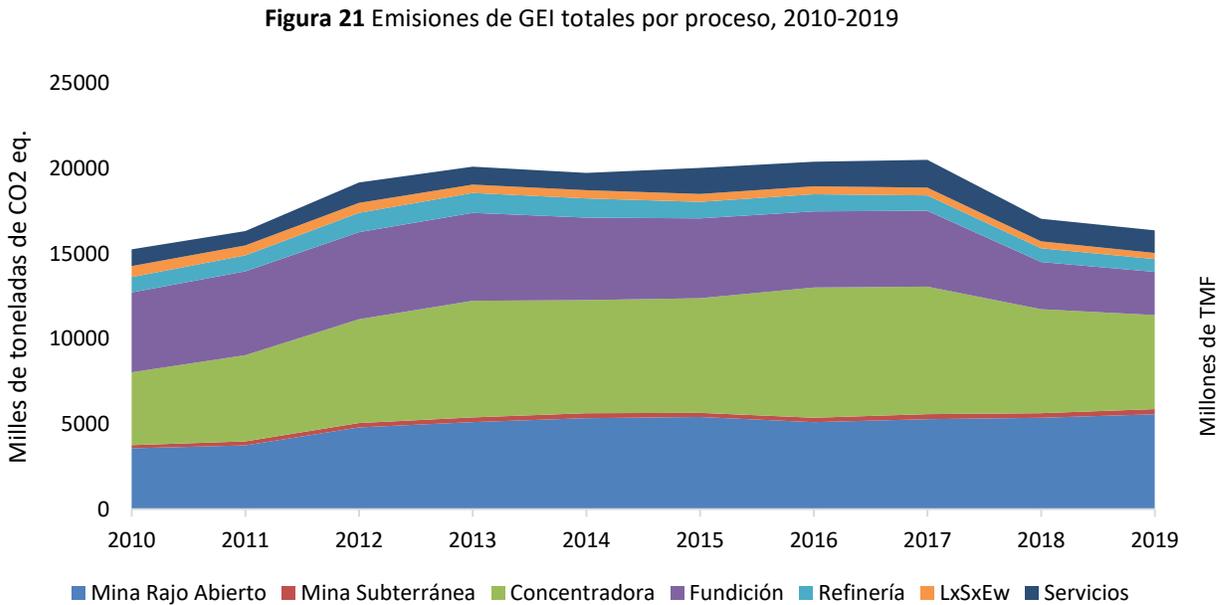
Agregando los totales de emisiones de gases de efecto invernadero directos e indirectos (véase la Figura 20), vemos que en el año 2019 se registraron emisiones por 16.366 mil toneladas de CO₂ equivalente, distribuidas en 6.252 mil por GEI directos (38,2% del total de emisiones de la minería del cobre) y 10.114 mil por GEI indirectos (61,8% del total). Esto representa una caída del 20,2% con respecto al año 2017 y de un 4,0% respecto al 2018, equivalente a una disminución de 4.139,5 mil toneladas de CO₂ equivalente respecto al 2017 y de menos 679,2 mil de toneladas de CO₂ equivalente respecto al 2018. Ello se atribuye principalmente a la caída en un 30,4% en las emisiones indirectas respecto al 2017 y de un 7,6% respecto al 2018, lo que a su vez se explica cómo se vio anteriormente al efecto de usar el nuevo factor de emisión del SEN en los cálculos.

Ahora bien, analizando el período completo desde 2010, se ha registrado un aumento del 7,3% en las emisiones totales en tanto la producción se ha mantenido relativamente estable aumentando un 6,8% en el período. El aumento en las emisiones en el período analizado se atribuye mayormente a causas estructurales en la matriz productiva minera destacando el envejecimiento de las minas (lo que a su vez conlleva mayores distancia de acarreo, mayor dureza de la roca, menores leyes del mineral y mayor uso de agua de mar).



Fuente: Cochilco

Del mismo modo, revisando las emisiones de GEI a nivel agregado (véase Figura 21) se advierte que el proceso de concentración lidera las emisiones 5.520,7 mil toneladas de CO₂ eq., que representa el 33,7% del total en 2019 (un 97,8% proviene de emisiones indirectas y sólo un 2,2% de directas). Entre el 2010 al 2019 este proceso ha aumentado sus emisiones en un 29,1%. Como hemos visto, este incremento se vincula directamente a la tendencia nacional hacia la producción de concentrados, que en el período fue de un incremento en 26,3%. La producción de concentrados es altamente intensiva en energía eléctrica y consecuentemente involucran la generación de emisiones del tipo indirectas.

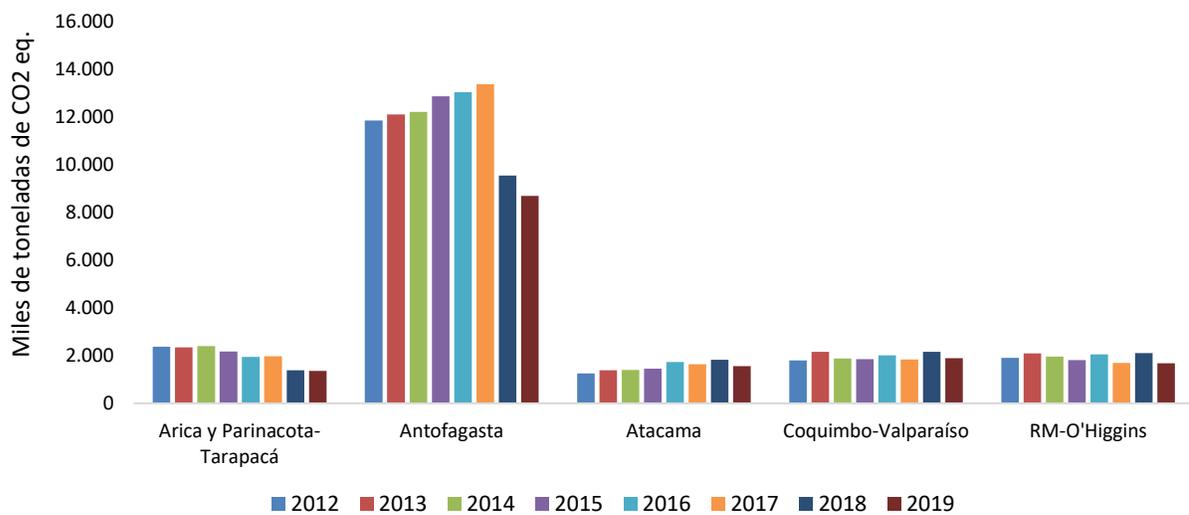


Fuente: Cochilco.

El segundo proceso con mayor emisión de GEI en el 2019 es el de Mina Rajo, con 5.569,4 mil toneladas de CO₂ eq. lo que representa un 34,0% de las emisiones totales de la minería del cobre (un 90,9% proviene de emisiones directas y un 9,1% de indirectas). En tanto entre el 2010 y 2019 las emisiones de este proceso aumentaron un 55,9% básicamente debido a temas estructurales que enfrenta la minería como lo es el envejecimiento de las minas. El tercer proceso que tiene mayor emisión en el 2019 es el de Fundición con 2.534 mil toneladas de CO₂ eq. emitidas, lo que representa un 15,5% de las emisiones totales de la minería del cobre. Entre el 2010 y 2019 las emisiones de este proceso han disminuido un 46,0%.

Por último revisando las emisiones a nivel regional, se observa de la Figura 22, como es de esperar, que Antofagasta es la región con mayor nivel de emisiones por minería del cobre, con el 57,3% del total de emisiones de la minería del cobre durante el año 2019 (un 36,5% proviene de emisiones directas y un 63,5% de las indirectas). Esta situación se debe a que Antofagasta es la principal región cuprífera del país, pero también a las restricciones hídricas y demás factores estructurales que afectan a la minería del cobre en la zona. Al comparar las emisiones de la región con las del año 2017 se observa que la región ha “mejorado” ello se debe a la influencia de las emisiones indirectas y al nuevo factor de emisión del SEN que es mucho menor que la del antiguo sistema SING.

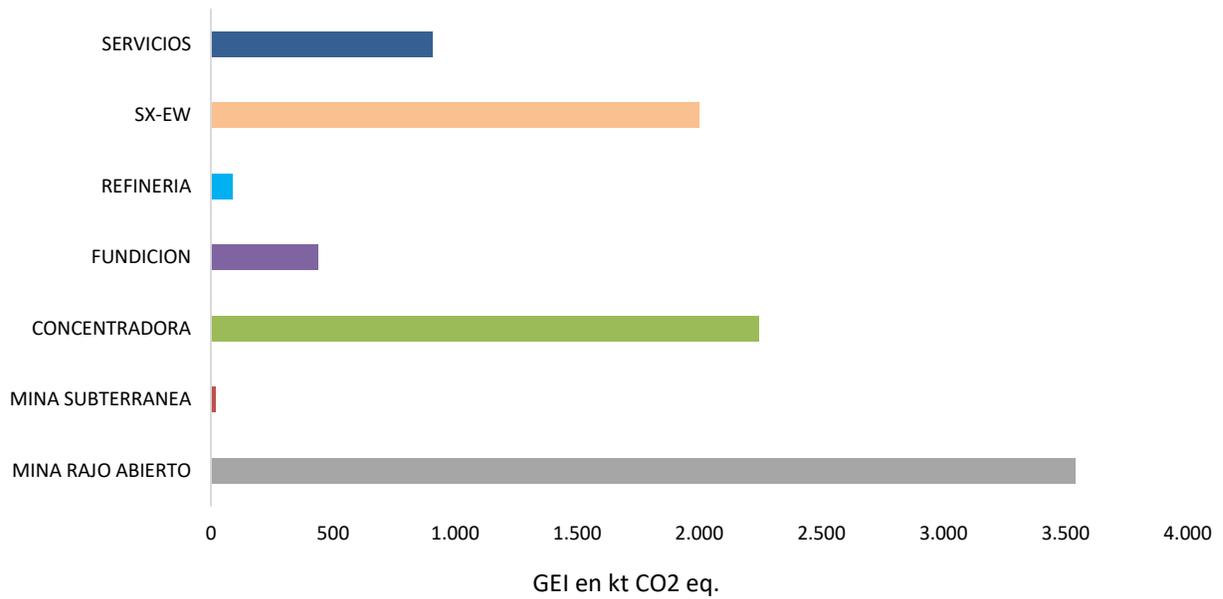
Figura 22 Emisiones de GEI totales por región, 2010-2019



Fuente: Cochilco

Al analizar en la región de Antofagasta las emisiones de GEI totales por proceso, se observa en Figura 23 que durante el 2019 la mina rajo es el proceso que mayores emisiones tiene con 3.540 mil toneladas de CO₂ equivalente, lo cual representa el 38,4% de las emisiones totales de GEI de la región. Seguido por el proceso de concentración con 2.245 mil toneladas de CO₂ eq., lo que representa el 24,3 % de las emisiones totales de la región. Y el tercer proceso que más emite en Antofagasta es la Lixiviación, con 1.998 mil toneladas de CO₂ eq., lo que representa el 21,7% de las emisiones totales de Antofagasta.

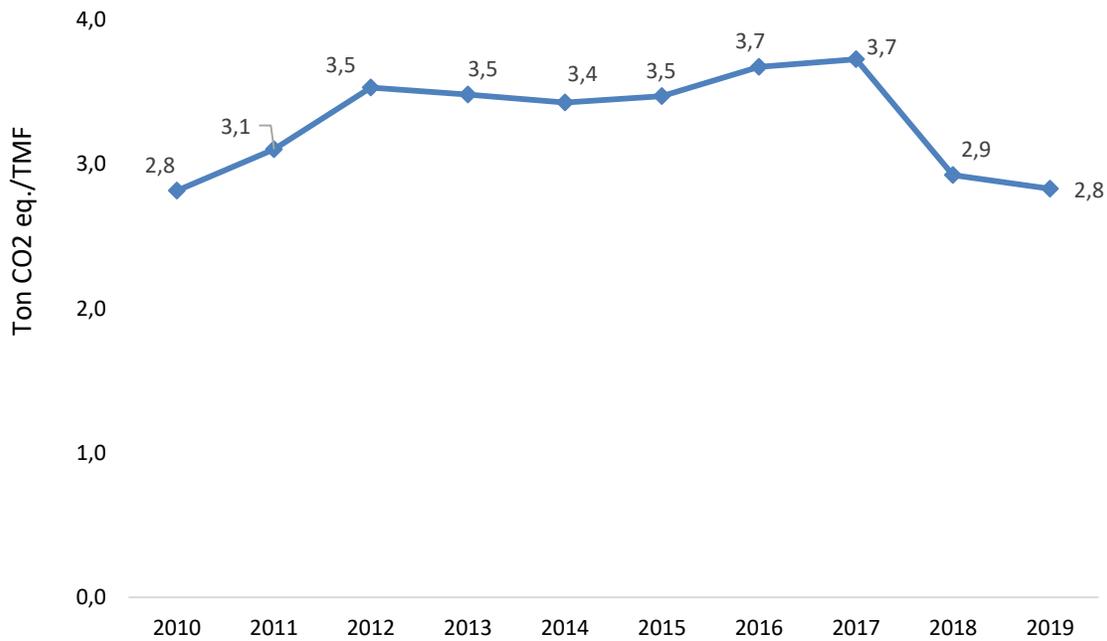
Figura 23 Emisiones de GEI totales por proceso en región de Antofagasta 2019



Fuente: Cochilco

Al calcular el coeficiente unitario global de las emisiones totales de GEI de la minería del cobre a nivel nacional, se observa en Figura 24 que en el 2019 este indicador alcanzó un valor de 2,8 toneladas de CO₂ eq. por tonelada de cobre fino producido.

Figura 24 Coeficiente unitario global de GEI total en la minería del cobre en Chile



Fuente: Cochilco.

6. Emisiones GEI minería del cobre en el contexto nacional

El Ministerio de Medio ambiente, en conjunto con el Ministerio de Energía, tienen la tarea de elaborar oficialmente el Inventario Nacional de gases de Efecto Invernadero. En el último informe a nivel país elaborado de emisiones GEI, el Cuarto Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático (BUR) 2020, se muestran las cifras del “Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, 1990-2018”. Este documento expone que las emisiones totales de Chile en el 2018 son de 113.640,2 mil toneladas de CO₂ eq.

Si se comparan cifras del 2018 calculadas por COCHILCO de emisiones directas e indirectas de la minería del cobre con las del BUR (Ver Tabla 4), se tiene que:

- Las emisiones directas o de alcance 1 de la minería del cobre representan el 5,4% del total nacional de emisiones GEI
- Las emisiones indirectas o de alcance 2 de la minería del cobre representan el 9,6% del total nacional de emisiones GEI
- Es así como las emisiones totales de la minería del cobre son un 15,0% de las emisiones GEI totales a nivel país

Tabla 4: GEI minería del Cobre vs GEI País

Emisiones GEI (kt CO ₂ eq)	Año 2018		
	Minería del Cobre (COCHILCO)	Total Nacional (BUR)	% del Total Nacional
Directo	6.094,7		5,4%
Indirecto	10.950,5		9,6 %
Total	17.045,2	113.640,2	15,0%

Fuente: BUR 2020 y COCHILCO 2020

Cabe señalar que las emisiones de la minería del cobre consideradas a nivel nacional y expuestas en el Cuarto Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático 2020, son las de Alcance 1. Al respecto el BUR 2020 señala que las emisiones de la minería del cobre son 5.826 mil toneladas de CO₂ eq, lo que representa un 5,1% del total nacional en el 2018. Las emisiones de alcance 2 de minería del cobre no son consideradas en dicho informe.

7. Comentarios Finales

- Durante el año 2019 se registraron emisiones de GEI por un total de 16.366 mil toneladas de CO₂ equivalente en la minería del cobre en Chile, distribuidas en 6.252 mil por GEI directos (38,2% del total de emisiones de la minería del cobre) y 10.114 mil por GEI indirectos (61,8% del total).
- Comparando con el año anterior, las emisiones totales fueron un 20,2% menores a las registradas durante 2018, variación que implica una disminución de 679,2 mil toneladas de CO₂ equivalente. Esto se atribuye principalmente a una caída del 7,6% en las emisiones indirectas.
- La importante baja en las emisiones indirectas de la minería del cobre se explica por el impacto en el año 2019 de usar el nuevo factor de emisión del SEN, factor que es producto de la fusión de las emisiones del SING y del SIC. Este factor de emisión es de 0,4056 tCO₂ eq/MWh, que es un 47,6% menor que el factor de emisión del SING del año 2017. Cabe señalar que en el SING (Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta) está concentrada mayormente la producción de cobre.
- Antofagasta es la región con mayor nivel de emisiones por minería del cobre, con 8.696,4 mil toneladas de CO₂ eq. que representa el 57,3% del total durante el año 2019 (un 36,5% proviene de emisiones directas y un 63,5% de las indirectas). Esta situación se debe a que Antofagasta es la principal región cuprífera del país, pero también a las restricciones hídricas y demás factores estructurales que afectan a la minería del cobre en la zona.
- El proceso de concentración lidera las emisiones totales con 5.520,7 mil toneladas de CO₂ eq. que representa el 33,7% del total en 2019 (un 97,8% proviene de emisiones indirectas y sólo un 2,2% de directas). Entre el 2010 al 2019 este proceso ha aumentado sus emisiones en un 29,1%. Como hemos visto, este incremento se vincula directamente a la tendencia nacional hacia la producción de concentrados (+26,3% en el período), que son altamente intensivos en el uso de electricidad y agua, lo que –en las regiones más áridas- incentiva al uso e impulsión de agua de mar hacia las faenas mineras, aumentando los requerimientos de energía eléctrica y consecuentemente involucran la generación de emisiones del tipo indirectas.
- El segundo proceso con mayor emisión total de GEI en el 2018 es el de Mina Rajo, con 5.569,4 mil ton de CO₂ eq. lo que representa un 34,0% de las emisiones totales de la minería del cobre (un 90,9% proviene de emisiones directas y un 9,1% de indirectas). En tanto entre el 2010 y 2019 las emisiones de este proceso aumentaron un 55,9% básicamente debido a temas estructurales que enfrenta la minería como lo es el envejecimiento de las minas.
- En término de emisiones GEI directas, el proceso que mayor emisión tiene es el de mina rajo con 5.061,5 mil ton de CO₂ eq., lo que representa el 81,0% de las emisiones directas de la minería del cobre.

- Es así como en la mina rajo se cuantifica la mayor emisión de GEI directos, producto del uso intensivo de diésel por parte del proceso de acarreo y transporte. En este proceso utiliza cerca del 89% de todo el diésel consumido por la minería del cobre en Chile. Ahora bien, cabe señalar que en los últimos años se han promocionado una serie de programas de innovación tecnológica que permitirían el reemplazo parcial del combustible por otros más económicos y menos contaminantes como el hidrogeno verde, lo que contribuiría a la reducción sostenida de emisiones de GEI directos.
- En término de emisiones GEI indirectas, el proceso que mayor emisión tiene es el de concentración, con 5.401,6 mil ton de CO₂ eq., lo que representa el 53,4% de las emisiones indirectas de la minería del cobre.
- En la medida que se integren energías renovables no convencionales tanto directamente en procesos mineros, así como en la matriz energética del país, las emisiones indirectas de la minería del cobre irán disminuyendo en un futuro.
- En relación al coeficiente unitario global de las emisiones totales de GEI de la minería del cobre a nivel nacional, para el 2019 es de 2,8 toneladas de CO₂ eq. por tonelada de cobre fino producido. En tanto el coeficiente unitario de las emisiones directas de GEI de la minería del cobre a nivel nacional, es de 1,08 toneladas de CO₂ eq. por tonelada de cobre fino producido y el de emisiones indirectas es de 1,75 ton de CO₂ eq. por tonelada de cobre fino producido.
- En el Cuarto Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático (BUR) 2020, que es el último informe a nivel país elaborado de emisiones GEI, se muestran las cifras del “Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, 1990-2018”. Este documento expone que las emisiones totales de Chile en el 2018 son de 113.640,2 mil toneladas de CO₂ eq., señala que las emisiones de la minería del cobre son 5.826 mil toneladas de CO₂ eq, lo que representa un 5,1% del total nacional en el 2018. . Las emisiones de alcance 2 de minería del cobre no son consideradas en dicho informe.
- Al comparar las emisiones de alcance 1 y 2 de la minería del cobre del año 2018 calculadas por COCHILCO en relación a los 113.640,2 mil toneladas de CO₂ eq emitido por Chile, se tendría que las emisiones directas o de alcance 1 de la minería del cobre representan el 5,4% del total en tanto las emisiones indirectas o de alcance 2 de la minería del cobre representarían el 9,6% del total nacional de emisiones GEI al año 2018. Es así como las emisiones totales de la minería del cobre serían un 15,0% de las emisiones GEI totales a nivel país en el 2018.

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

Rosana Brantes Abarca

Analista de Estrategia y Políticas Públicas

Jorge Cantallopts Araya

Director de Estudios y Políticas Públicas

Diciembre / 2020