



# **Informe sobre las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero al 2015**

---

DEPP 23/2016

## Resumen Ejecutivo

El presente informe tiene por objetivo estudiar y cuantificar las emisiones indirectas o de alcance 2 de gases efecto invernadero (GEI) de la minería del cobre en Chile. Las emisiones de alcance 2 corresponden a las emisiones indirectas de GEI que se generan en las centrales de producción de electricidad como consecuencia del consumo de electricidad en la producción. Siendo la minería del cobre uno de los principales consumidores de energía eléctrica del país, alcanzando aproximadamente el 31,9% del consumo total de electricidad en el país al año 2015, y en promedio ha representado el 32,4% del consumo de electricidad en los últimos 15 años, es de relevancia conocer el aporte en emisiones que esta industria genera.

Para cuantificar las emisiones de GEI de alcance 2 es necesario conocer el consumo eléctrico de la industria minera del cobre y los factores de emisión de GEI de las matrices energéticas en los sistemas interconectados del norte grande (SING) y el sistema interconectado central (SIC). Los consumos de electricidad en la industria son obtenidos a través de una encuesta anual que realiza Cochilco con motivo de conocer las producciones alcanzadas por las faenas más importantes del país, así como sus consumos de electricidad, combustibles y agua. Por otro lado, los factores de emisión de gases de efecto invernadero son publicados por el Ministerio de Energía, y dependen de la composición de la generación eléctrica en los sistemas interconectados.

El año 2015 las emisiones indirectas de la industria minera alcanzan los 13,9 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente a nivel nacional, lo que corresponde a un aumento del 28,7% respecto al 2010 con un aumento en la producción de cobre fino contenido de un 6,4% en el mismo período.

**Figura 1: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Indirectos totales y producción de la minería del cobre en Chile, 2010 -2015**



Fuente: Elaborado por Cochilco

En particular, el proceso de mayor relevancia en la emisión de GEI indirectos es el de concentración. En el año 2015 alcanza un total de 6,6 millones de toneladas de CO2 equivalente, lo que corresponde a un aumento de un 57% respecto del año 2010.

La principal causa del aumento en la emisión de GEI indirectos, se debe al mayor consumo de energía eléctrica en la minería del cobre en el período analizado, principalmente por la electricidad usada en chancado y molienda por mayor dureza del mineral, mayor volumen de mineral procesado en plantas concentradoras tanto por baja de leyes como también porque hay una mayor producción de concentrados, esto último se espera se acentúe a futuro, básicamente por la disminución de minerales lixiviables disponibles y por tanto un mayor procesamiento de minerales sulfurados.



## Índice

Resumen Ejecutivo .....	I
1. Introducción .....	4
2. Metodología .....	5
3. Emisión de Gases de Efecto Invernadero Indirectos en la Minería del Cobre en Chile .....	7
3.1. Emisión total de GEI Indirectos en la minería del cobre en Chile.....	7
3.2. Emisión por proceso de GEI Indirectos en la minería del cobre en Chile .....	8
3.3. Emisión por región de GEI Indirectos en la minería del cobre en Chile .....	11
3.4. Emisiones en los Sistemas SING y SIC de GEI Indirectos de la minería del cobre.....	12
4. Comentarios finales.....	15
5. Anexo: Tablas contienen datos de emisión de GEI indirectos reportados en este informe. ....	17

## Índice de Figuras

Figura 1: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Indirectos totales y producción de la minería del cobre en Chile, 2010 -2015.....	I
Figura 2: Consumo de energía eléctrica en la minería del cobre, 2010 – 2015.....	7
Figura 3: Emisiones indirectas de GEI totales y producción de la minería del cobre en Chile.....	8
Figura 4: Coeficiente unitario global de emisiones indirectas de GEI de la minería del cobre en Chile....	8
Figura 5: Consumo de electricidad por proceso minero, 2010 – 2015.....	9
Figura 6: Emisiones y Participación de GEI indirectas por procesos a nivel nacional 2010 – 2015.....	10
Figura 7: Consumo de electricidad en la minería del cobre por región, 2015.....	11
Figura 8: Emisiones Indirectas de GEI y su participación por región, 2010 – 2015.....	11
Figura 9: Consumo de energía eléctrica y emisiones GEI indirectas por parte minería del cobre en Sistemas SING-SIC, 2015.....	12
Figura 10: Emisiones de GEI Indirectos de los Sistemas SING-SIC y de la minería del cobre 2015.....	13
Figura 11: Emisiones de GEI indirectos de la minería del cobre en Sistemas SING-SIC, 2010 – 2015.....	14

## Índice de Tablas

Tabla 1 Factores de emisión de GEI según Sistema Interconectado.....	6
Tabla 2: Consumo de electricidad por proceso en los sistemas interconectados SING y SIC.....	17
Tabla 3: Emisiones indirectas de GEI por proceso en los sistemas interconectados SING y SIC .....	18



## 1. Introducción

El cambio climático debido a la emisión de gases efecto invernadero (GEI), tanto de origen natural como antropogénico, es una problemática que afecta en diferente grado y forma a las naciones. En el caso de Chile, los efectos del cambio climático se hacen patentes en la disminución de las precipitaciones promedio anual, el avance del desierto en la zona centro-norte del país y el aumento de las temperaturas promedio anual en las regiones. En este sentido, los expertos del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) pronostican que de seguir las emisiones de GEI, en particular las de CO<sub>2</sub>, a tasas similares a las actuales durante los próximos 50 se años se experimentarán cambio más rápidos que en todo el siglo XX.

Por el motivo antes expuesto, los diferentes Gobiernos, principalmente las grandes economías y economías desarrolladas, han suscrito acuerdos para reducir las tasas de emisión de GEI y las cantidades totales emitidas en diferentes horizontes de tiempo. En este contexto, el Estado de Chile suscribió primero al Protocolo de Kioto y luego al Convenio Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas celebrado en Copenhague en 2009 cuyo objetivo es la reducción en un 50% de las emisiones de CO<sub>2</sub> al año 2050 en comparación con el año 1990.

La Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO) en su misión de generar información que permita el desarrollo sustentable de la minería en Chile, ha publicado de manera sistemática las emisiones de GEI de la minería del cobre desde el año 2001 al 2014. Primero, a través de la publicación de las estadísticas e informe de emisiones directas de GEI de la minería del cobre. Segundo, a través de la cuantificación y análisis de las emisiones indirectas de GEI.

El trabajo de publicación de estadísticas y el informe de emisiones de GEI indirectas se realizó de manera sistemática por COCHILCO desde el año 2001 hasta el año 2010, posteriormente pasó a ser una de las atribuciones Ministerio de Energía. Sin embargo, con motivo de continuar teniendo conocimiento de las emisiones indirectas de la industria minera, aún se estudian las emisiones indirectas de GEI de la minería las cuales se plasman en el presente informe de carácter de uso interno de COCHILCO.

El objetivo del presente informe es cuantificar y analizar la evolución de las emisiones de GEI indirectas o de alcance 2 de la minería del cobre en Chile. Las emisiones de alcance 2 corresponden a las emisiones de GEI de las centrales de generación eléctrica debido al consumo de electricidad de la industria o sector económico para su funcionamiento. Este análisis es posible de realizar en base a la Encuesta Minera de Producción Consumo de Agua y Energía de la Minería del Cobre en Chile (EMPAE por sus siglas), donde se reportan los niveles de consumo de electricidad por procesos de las principales faenas mineras productoras de cobre del país. Esto permite estudiar a nivel nacional las emisiones de GEI indirectos, así como también las emisiones por Sistema de Interconectado de generación de electricidad; en particular de los Sistemas Interconectados del Norte Grande (SING) y Central (SIC).

Este estudio se realizó en base a la información entregada en la encuesta EMPAE 2015 de 52 faenas mineras productoras de cobre en Chile, que representan el 98% de la producción nacional. De manera particular para efectuar el cálculo de las emisiones indirectas de GEI se utiliza el consumo de



electricidad de las faenas mineras por procesos y los coeficientes unitarios de emisión de GEI por unidad de electricidad consumida de acuerdo al sistema interconectado publicados por el Ministerio de Energía.

El presente informe está estructurado de la siguiente manera, en el punto dos se revisan brevemente la metodología utilizada para efectuar los cálculos de las emisiones indirectas de GEI de la minería del cobre en base a los consumos de energía eléctrica recogidos en la encuesta EMPAE y los coeficientes de emisión de GEI por Sistema de Interconexión SING y SIC calculados por el Ministerio de Energía. En el punto tres, se muestran los resultados de las emisiones de GEI indirectos de la minería del cobre a nivel nacional, por proceso, por región y por sistema interconectado SIC y SING. En el punto cuatro, se efectúan comentarios finales. Por último, en el punto cinco, se muestran las tablas con la información de emisiones de GEI indirectas de la minería.

## 2. Metodología

En cuanto a qué fuentes emisoras se consideran en el inventario de gases de efecto invernadero, todas las metodologías conocidas internacionalmente establecen tres niveles:

- Alcance 1: estas incluyen las emisiones directas procedentes de las actividades que la organización/empresa puede controlar.
- 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.
- Alcance 3: corresponde al resto de las emisiones indirectas que se generan como consecuencia de las actividades que ocurren en fuentes que no son controladas por la organización/empresa.

Este informe considera las emisiones de Alcance 2 de la minera del cobre. Para realizar esta cuantificación 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 de los sistemas interconectados SIC y SING (Promedio tCO<sub>2</sub>eq/MWh). En la fórmula (1) se muestra el cálculo de las emisiones de alcance 2 para los sistemas interconectados mencionados:

$$GEI2\_Mineria_i = fac\_emisión\_GEI2_i \times \sum_j \sum_k consumo\_electrico_{ijk} \quad (1)$$

Donde:

- *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.



- $fac\_emisión\_GEI2_i$ : corresponde al factor de emisión de GEI de la matriz energética del sistema interconectado  $i$  publicado por el Ministerio de Energía.
- $consumo\_electrico_{ijk}$ : corresponde al consumo eléctrico del proceso  $k$ , de la faena  $j$ , perteneciente al sistema interconectado  $i$ .

Los datos de consumo eléctrico se obtienen a través de la encuesta EMPAE. Los datos corresponden a las 52 faenas mineras más importantes del país, donde se consideran los procesos de: mina (rajo y subterránea), concentradora, LXSXEW, fundición, refinera y servicios.

En Chile hay dos principales sistemas eléctricos interconectados que proveen de energía eléctrica a las faenas mineras de cobre: el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) y el Sistema Interconectado Central (SIC). Las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con el consumo de electricidad están directamente relacionadas con la composición de la matriz energética de cada sistema interconectado, 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. Desde el año 2010 el Ministerio de Energía publica los factores de emisión promedio para dichos sistemas interconectados, donde varían dependiendo del tipo de generación eléctrica que entra al sistema. En la tabla 1 se muestran los factores de emisión para el SING y SIC en el periodo 2010 – 2015.

**Tabla 1** Factores de emisión de GEI según Sistema Interconectado

Año	Factor SIC (tCO <sub>2</sub> eq/MWh)	Factor SING (tCO <sub>2</sub> eq/MWh)
2010	0,346	0,715
2011	0,379	0,725
2012	0,391	0,806
2013	0,432	0,811
2014	0,360	0,790
2015	0,346	0,764

Fuente: Ministerio de Energía

Cabe señalar que comparativamente el menor valor del factor de emisión del SIC respecto del SING, se explica porque el SIC tiene 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 es en gran parte térmica.



### 3. Emisión de Gases de Efecto Invernadero Indirectos en la Minería del Cobre en Chile

En esta sección, se muestran los principales resultados del consumo de energía eléctrica en Terajoules de la minería del cobre en Chile y su respectiva emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) Indirectos en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

Primero, se presentan los datos de consumo total de energía eléctrica y los resultados de la emisión total de GEI indirectos de la minería del cobre en Chile, entre los años 2010 - 2015, posteriormente se clasifica por procesos tanto el consumo de electricidad como su emisión de GEI indirectos para el mismo período. Para el año 2015 se muestran los consumos de energía eléctrica y emisiones de GEI indirectas por región.

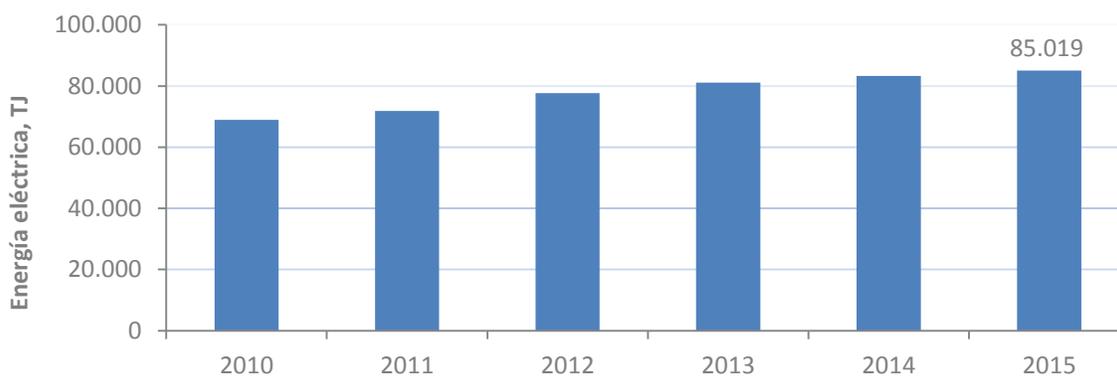
Por último, se examina las emisiones de GEI indirectas por Sistema interconectado SING y SIC.

#### 3.1. Emisión total de GEI Indirectos en la minería del cobre en Chile

Las emisiones de GEI indirectos de la minería del cobre a nivel nacional, y de otras industrias, es resultado del consumo total de electricidad y de la composición de la matriz de generación eléctrica a la cual está conectado.

Para la minería del cobre, el consumo de energía eléctrica se ha ido incrementando en el período 2010-2015, es así como en el año 2015 se registró un consumo de electricidad de 85.019 Terajoules, lo que corresponde a un incremento del 23,3% respecto al año 2010 (Ver Figura 2).

**Figura 2: Consumo de energía eléctrica en la minería del cobre, 2010 – 2015**



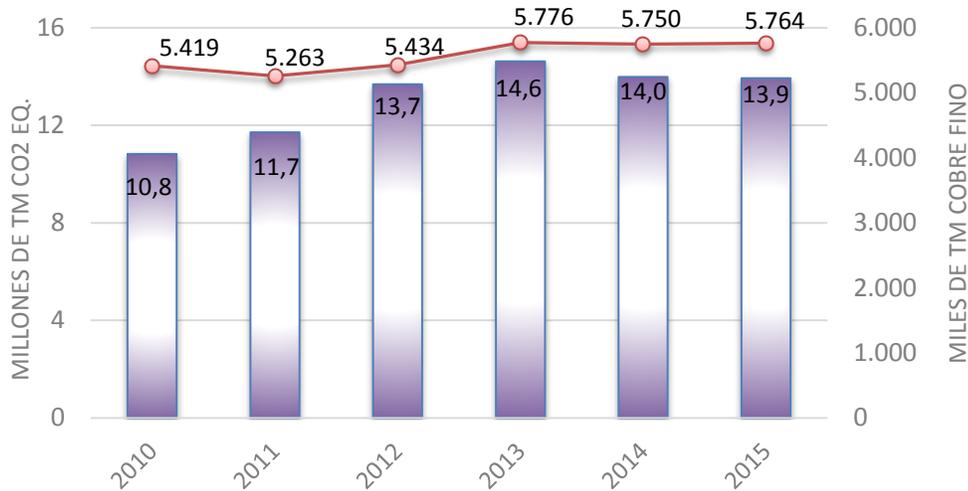
Fuente: Elaborado por Cochilco

Es así como, en términos de emisiones indirectas de GEI, la minería del cobre en Chile tiene una emisión total de 13,9 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que corresponde a un aumento del 28,7% respecto al 2010 con un aumento en la producción de cobre fino contenido de un 6,4% en el mismo período. (Ver Figura 3).

La principal causa del aumento en la emisión de GEI indirectos, se debe a este mayor consumo de energía eléctrica en la minería del cobre en el período analizado, fundamentalmente por el aumento marginal en el consumo de las operaciones existentes, así como también por el aumento de producción

de concentrados a nivel nacional y de la inclusión en Servicios de la energía eléctrica utilizada para plantas desalinizadoras e impulsión de agua de mar directa o desalinizada a las faenas.

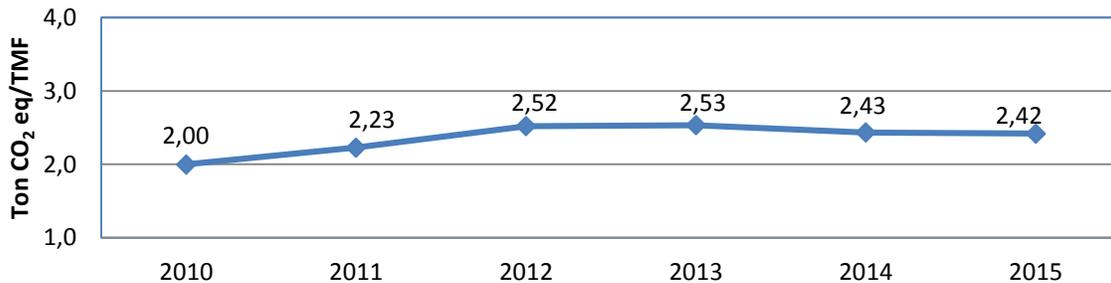
**Figura 3: Emisiones indirectas de GEI totales y producción de la minería del cobre en Chile**



Fuente: Elaborado por Cochilco

Un indicador global de las emisiones de GEI de la minería del cobre a nivel nacional es el coeficiente unitario de emisiones indirectas de GEI en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por unidad de tonelada de cobre fino producido. Este indicador alcanza un valor de 2,42 toneladas de CO<sub>2</sub> eq. por tonelada de cobre fino el año 2015. Este indicador muestra una leve tendencia al alza en las emisiones indirectas de GEI de la minería del cobre, aumentando en un 21% en el periodo 2010 – 2015. Sin embargo, la tendencia al alza se encuentra fuertemente correlacionada a la disminución en las leyes de mineral de la minería del cobre, las cuales lo han hecho en un 17,3% en el mismo periodo de tiempo.

**Figura 4: Coeficiente unitario global de emisiones indirectas de GEI de la minería del cobre en Chile**



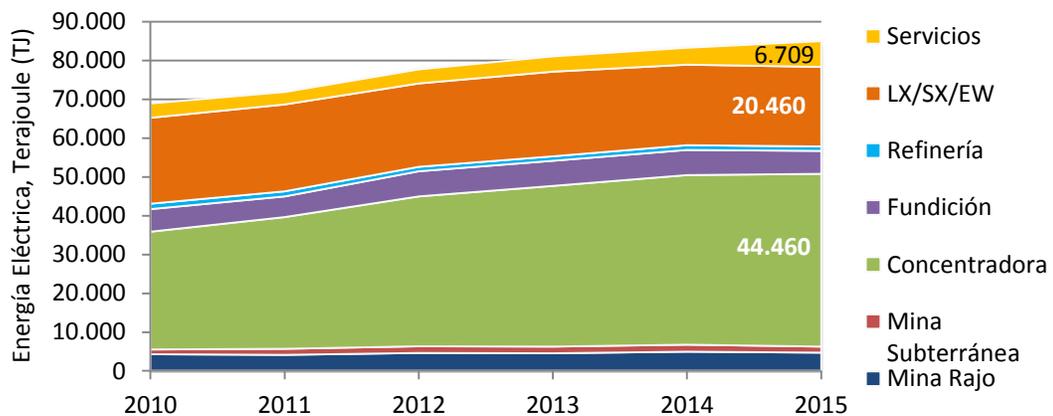
Fuente: Elaborado por Cochilco

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

Al analizar el consumo eléctrico por proceso en la minería (Ver Figura 5), se observa que la concentración en el año 2015, es el proceso que más demanda energía eléctrica con 44.460 TJ, lo que representa un 52% en el consumo total de energía eléctrica ese año. En el periodo 2010-2015, este

proceso ha tenido un aumento del consumo eléctrico del 47% y se relaciona principalmente con el incremento en la electricidad usada en chancado y molienda por mayor dureza del mineral, mayor volumen de mineral procesado en plantas concentradoras tanto por baja de leyes como también porque hay una mayor producción de concentrados que aumentó 20% en el periodo 2010 – 2015. El segundo proceso de mayor consumo eléctrico en 2015 corresponde a la lixiviación que alcanzó un consumo total de 20.460 TJ, lo que corresponde a 24% respecto del consumo total en energía eléctrica ese año. Comparando con el año 2010 su consumo ha disminuido un 8% debido en parte por la disminución de producción de cobre fino en cátodos electro obtenido la cual disminuye en un 15% en el periodo 2010 –2015. También, es importante destacar el consumo de electricidad alcanzado por los Servicios de 6.709 TJ en 2015, que si bien representa un 8% del total de energía eléctrica utilizada en minería del cobre, evidencia un importante incremento del 54% respecto al 2014. Cabe destacar al respecto, que desde el año 2012 se incluye en la encuesta de consumo energético el ítem de consumo eléctrico en plantas de desalinización e impulsión de agua de mar (ya sea directa o desalinizada), lo cual explica el incremento del consumo eléctrico en Servicios.

**Figura 5: Consumo de electricidad por proceso minero, 2010 – 2015**

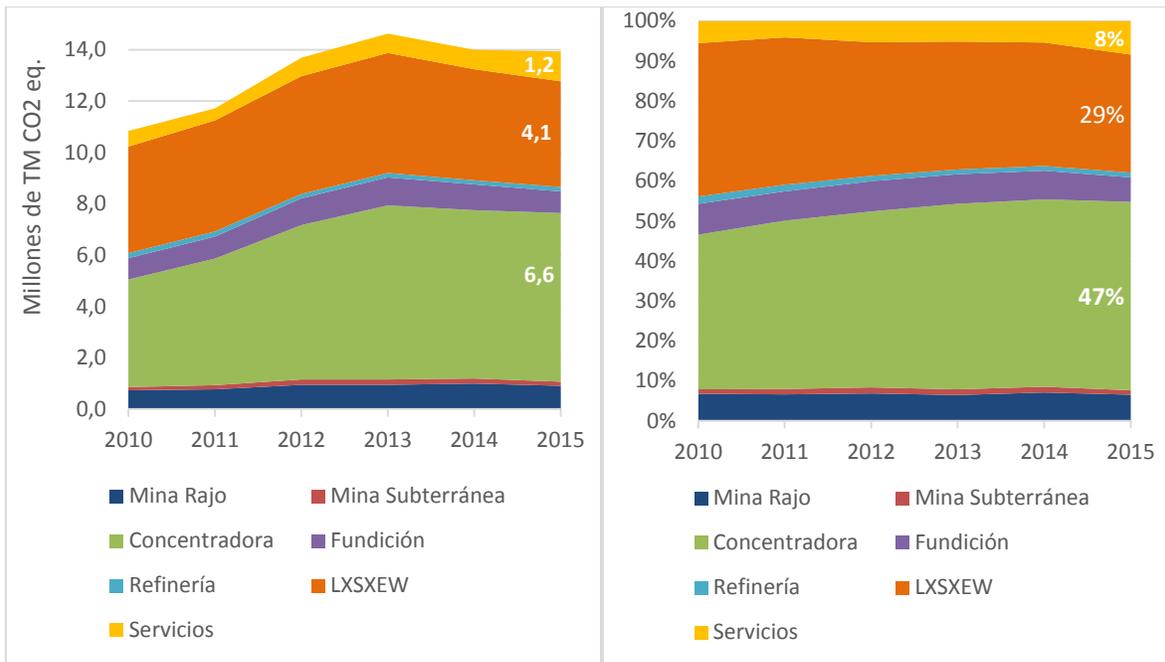


Fuente: Elaborado por Cochilco

Es así como, en la Figura 6 se muestra que el proceso de mayor emisión de GEI indirecto corresponde al de concentración que en el año 2015 emite un total de 6,6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que corresponde a un aumento del 57% respecto del año 2010. En términos de participación, esta ha ido aumentando en el período 2010 al 2015, desde un 39% de las emisiones GEI indirectas de la minería del cobre en el 2010 a una participación de un 47% de las emisiones el año 2015.

Por otro lado, el proceso que le sigue en importancia de emisiones de GEI indirectos es el de Lixiviación. Su participación en el tiempo ha ido disminuyendo en el período analizado 2010-2015, y se espera que esta tendencia se acentúe a futuro, básicamente por la disminución de minerales lixiviables disponibles y por tanto habrá un mayor procesamiento de minerales sulfurados, sigue siendo el segundo proceso de mayor participación en la emisión de GEI, es así como en el año 2015, alcanzó una emisión total de 4,1 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que significa una participación de un 29% en las emisiones indirectas de GEI mineras versus el 38% de participación que tenía en el año 2010.

**Figura 6: Emisiones y Participación de GEI indirectas por procesos a nivel nacional 2010 – 2015**



Fuente: Elaborado por Cochilco

El tercer proceso que ha emergido en importancia de emisiones de GEI indirectos en el período 2010-2015 es el proceso de Servicios que ha aumentado en un 97% su nivel de emisiones. Es así como en el año 2015 este proceso alcanza 1,2 millones de toneladas CO2 equivalente ese año, lo que representa el 8% de las emisiones GEI indirectas por parte de la minería del cobre ese año, versus el año 2010 que emitía 0,6 millones de toneladas CO2 equivalente (6% de las emisiones indirectas GEI).

En este sentido, la evolución que ha tenido proceso de Servicios hacia una mayor participación en la emisión de GEI, se debe a la incorporación del consumo eléctrico en plantas de desalinización e impulsión de agua de mar (ya sea directa o desalinizada) como se mencionó anteriormente.

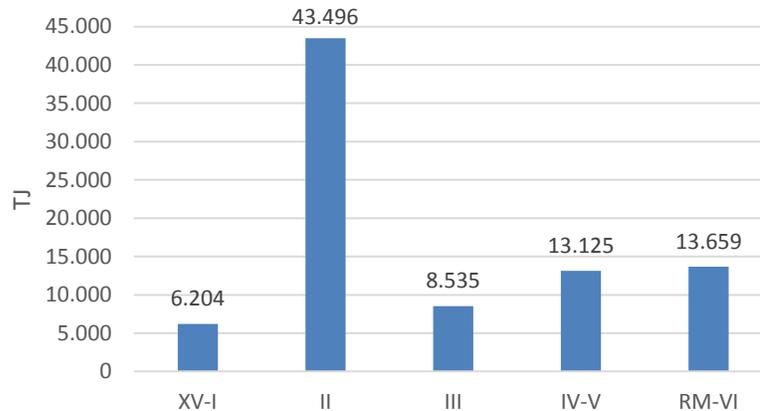
Cabe mencionar además, que el proceso de concentración tiene además de un uso intensivo de energía eléctrica, un consumo intenso de agua. Ello sumado al restrictivo escenario de abastecimiento de agua que enfrenta la minería, ha hecho que el uso de agua de mar en sus operaciones sea una realidad y su consumo se incrementará en el futuro, tanto de manera directa (si la mineralogía del mineral así lo permite) como desalinizada. En ambos casos, el agua debe ser impulsada a las faenas mineras lo que incrementa aún más la demanda de energía eléctrica en el total de energía usada por minería del cobre.



### 3.3. Emisión por región de GEI Indirectos en la minería del cobre en Chile

En relación al consumo total de energía eléctrica de la minería del cobre por región, en la Figura 7 se puede ver que en el año 2015, la región de Antofagasta, que concentra además el 54% de la producción de cobre fino contenido en el país, es la región que mayor participación tiene en el consumo de energía eléctrica con 43.496 TJ, lo que representa el 51% del consumo de electricidad total minero.

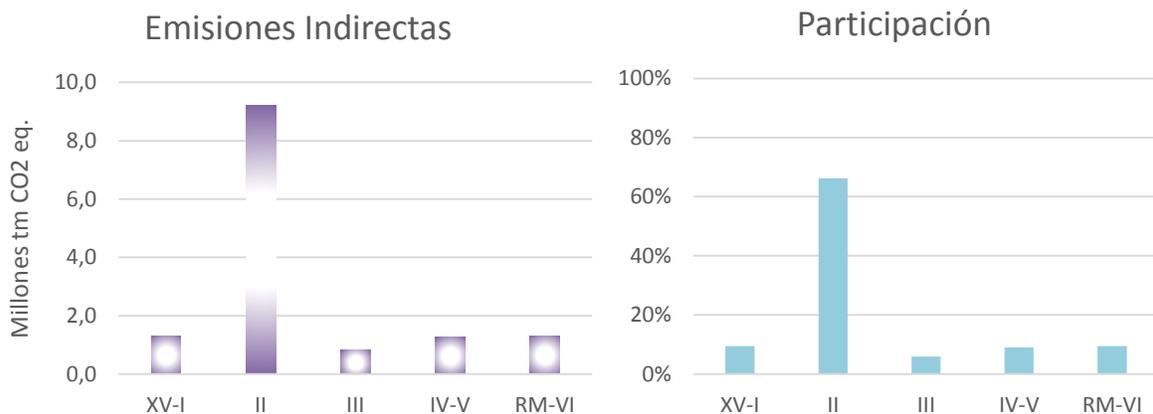
**Figura 7: Consumo de electricidad en la minería del cobre por región, 2015**



Fuente: Elaborado por Cochilco

En términos de emisiones directas de GEI, Antofagasta alcanza un total de 9,2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que representa un 66% del total de emisiones de GEI de la minería del cobre en 2015. En tanto las regiones las regiones XV- I, RM-VI y IV-V emiten respectivamente 1,3 millones toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que representa un 9% respectivamente del total nacional para el año 2015 (Ver Figura 8).

**Figura 8: Emisiones Indirectas de GEI y su participación por región, 2010 – 2015**



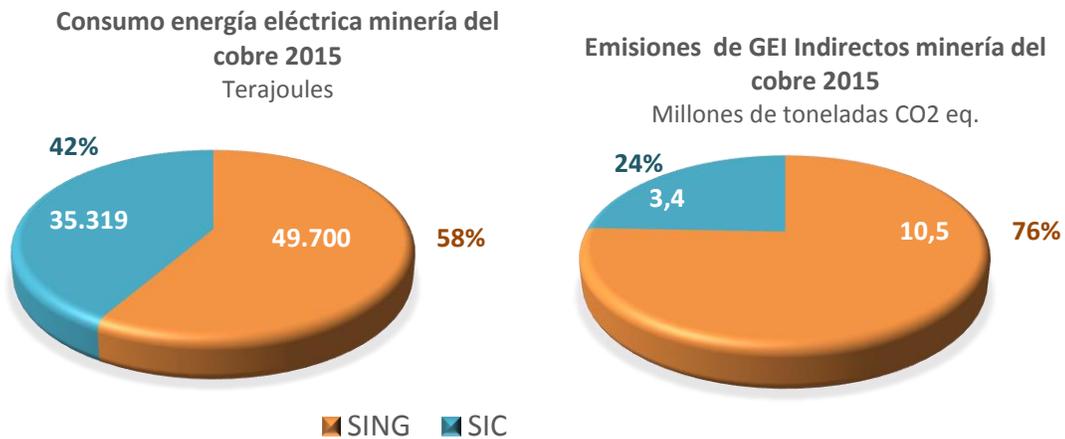
Fuente: Elaborado por Cochilco

### 3.4. Emisiones en los Sistemas SING y SIC de GEI Indirectos de la minería del cobre

En el año 2015 el consumo de electricidad de la minería del cobre en el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) fue de 49.700 TJ que representa un 58% del consumo total de energía eléctrica consumido por la minería del cobre, mientras que en el Sistema Interconectado Central (SIC) fue de 35.319 TJ (42%) (Ver Figura 9).

En términos de las emisiones de GEI indirectas por parte de la minería del cobre para el año 2015, el 76% se concentra en el Sistema SING con 10,5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, en tanto en el SIC la minería de cobre emite 3,4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (24%).

**Figura 9: Consumo de energía eléctrica y emisiones GEI indirectas por parte minería del cobre en Sistemas SING-SIC, 2015**



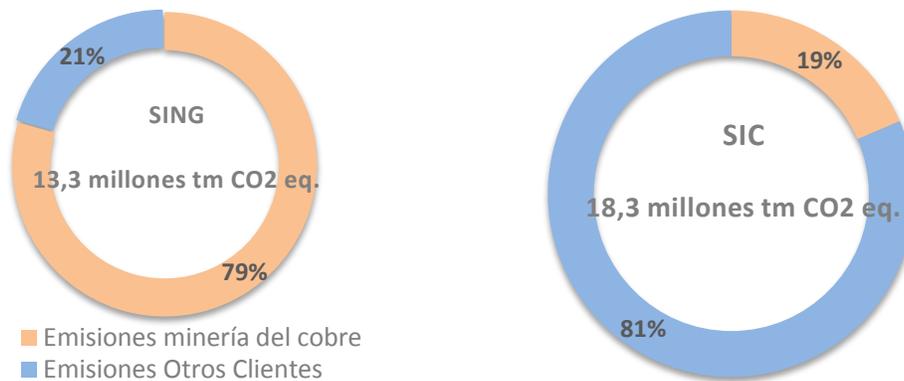
Fuente: Elaborado por Cochilco

El que el 76% de las emisiones de GEI indirectos se concentre en el SING se debe, como se mencionó anteriormente, a que el consumo de electricidad en la producción de cobre es mayor en el SING que en el SIC y a su vez, a que el factor de emisiones de GEI indirectos es mayor en el SING que el SIC. De hecho, la generación eléctrica en el SING corresponde en su mayoría a producción térmica, donde el carbón alcanza el 80% de participación, por tanto el factor de emisiones de GEI indirectos promedio para el sistema SING en el periodo 2010 – 2015 alcanza un valor promedio de 0,77 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por MWh consumido, lo cual es 2 veces el factor de emisiones promedio del Sistema SIC, que tiene una matriz de generación eléctrica más diversificada con energías renovables no convencionales, hidráulica entre otras y que alcanza un factor de emisiones promedio de 0,38 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por MWh consumido en el mismo periodo de tiempo. Cabe considerar además, que en período 2010 al 2015 el factor de emisiones del SING ha aumentado un 6,8%, en tanto en el SIC, si bien tuvo un alza del 24,9% entre 2010 al 2013, en los dos últimos años ha bajado su factor de emisión llegando a 0,35 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por MWh valor que tenía en el año 2010, lo que evidencia el efecto de una matriz de generación que se ha ido diversificando con generación

eléctrica hidráulica y de energías renovables no convencionales entre otras y por tanto disminuyendo su factor de emisión.

Al analizar las emisiones GEI indirectas de los Sistemas de Interconexión, se tiene que a nivel nacional en el año 2015, el Sistema SING generó 13,3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente de los cuales el 79% fue emitido por la industria minera del cobre, en tanto el Sistema SIC generó 18,3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente de los cuales el 19% fue emitido por la minería del cobre (Ver Figura 10).

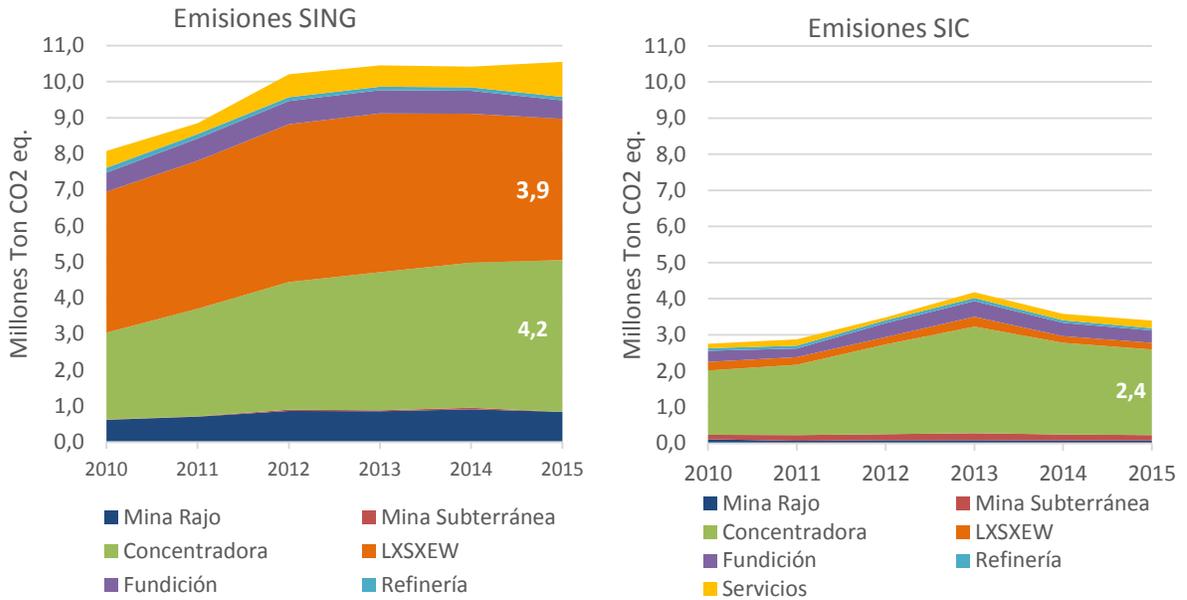
**Figura 10: Emisiones de GEI Indirectos de los Sistemas SING-SIC y de la minería del cobre 2015**



Fuente: Elaborado por Cochilco

Al analizar por procesos en los Sistemas SING y SIC, se tiene que en el SING los procesos de mayor consumo eléctrico en el año 2015, corresponden al proceso de Concentración con 19.819 TJ y al proceso de LXSXEW con un consumo de 18.480 TJ. En tanto en el SIC el mayor consumo de energía eléctrica es del proceso de Concentración con 24.641 TJ en 2015. Dado que la participación de los procesos en las emisiones de GEI indirectos en SING y SIC es el reflejo del consumo eléctrico por sistema interconectado, se tiene que en el caso de las emisiones indirectas de la minería del cobre en el sistema SING, la participación de las emisiones de la concentradora alcanza el 40% con 4,2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, mientras que LXSXEW alcanza el 37% de participación el año 2015 con 3,9 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

**Figura 11: Emisiones de GEI indirectos de la minería del cobre en Sistemas SING-SIC, 2010 – 2015**



Fuente: Elaborado por Cochilco

Por otro lado, en el Sistema SIC, el proceso de concentración es responsable del 70% de las emisiones indirectas de GEI en ese Sistema el año 2015 con 2,4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.



## 4. Comentarios Finales

- La minería del cobre en Chile genera una emisión total de GEI indirectas de 13,9 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en el año 2015.
- En el período 2010-2015, las emisiones de GEI indirectas aumentaron un 28,7%, en tanto la producción de cobre fino contenido aumentó un 6,4% y el consumo eléctrico en 23,3%, en el mismo período.
- El proceso de mayor emisión de GEI indirecto corresponde al de concentración. En el año 2015 alcanzó un total de 6,6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (47% de las emisiones GEI indirectas), lo que corresponde a un aumento de un 57% respecto del año 2010. Le sigue el proceso de Lixiviación, si bien su participación en el tiempo ha ido disminuyendo en el período analizado 2010-2015, sigue el segundo proceso de mayor participación en la emisión de GEI. Es así como en el año 2015 este proceso alcanzó una emisión total de 4,1 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que significa una participación de un 29% en las emisiones indirectas de GEI mineras versus el 38% de participación que tenía en el año 2010.
- Cabe destacar el proceso de Servicios con una emisión de 1,2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en el año 2015, lo que significa un aumento del 97% de las emisiones GEI indirectas del 2010. El aumento de las emisiones indirectas del proceso Servicios, se debe a la incorporación del consumo eléctrico en plantas de desalinización e impulsión de agua de mar (ya sea directa o desalinizada) en este ítem.
- En términos de coeficiente unitario de emisiones totales de GEI indirectos por tonelada de cobre fino producido en el país, la minería del cobre alcanza una emisión global de una 2,4 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en la producción de una tonelada de cobre fino el año 2015, lo que implica un aumento del 21% respecto al año 2010.
- En el año 2015 el 76% de las emisiones indirectas de GEI de la industria minera del cobre se concentra en el SING con 10,5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, de los cuales, 9,2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente pertenecen a la región de Antofagasta (66% del total de emisiones de GEI indirectas de la minería del cobre), región que a su vez lidera la producción de cobre fino contenido con un 54% del total de la producción de cobre en el país.
- Al analizar las emisiones GEI indirectas de los Sistemas de Interconexión, se tiene que a nivel nacional en el año 2015, el Sistema SING generó 13,3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente de los cuales el 79% fue emitido por la industria minera del cobre, en tanto el Sistema SIC generó 18,3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente de los cuales el 19% fue emitido por la minería del cobre.
- Es importante señalar que en los cálculos de emisiones de GEI indirecto por parte de la minería, influye de manera directa los factores de emisión por Sistema Interconectado del país. El factor de emisiones del SING (Sistema donde se concentra el mayor consumo de electricidad por parte minería) en que su generación eléctrica corresponde en su mayoría a producción

térmica, donde el carbón alcanza el 80% de participación, su factor de emisiones de GEI indirectos en el periodo 2010 – 2015 alcanza un valor promedio de 0,77 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por MWh consumido, lo cual es 2 veces el factor de emisiones promedio del Sistema SIC, que tiene una matriz de generación eléctrica más diversificada con energías renovables no convencionales, hidráulica entre otras y que alcanza un factor de emisiones promedio de 0,38 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por MWh consumido en el mismo periodo de tiempo. A su vez en período 2010 al 2015 el factor de emisiones del SING ha aumentado un 6,8%, en tanto en el SIC, si bien tuvo un alza del 24,9% entre 2010 al 2013, en los dos últimos años ha bajado su factor de emisión llegando a 0,35 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por MWh valor que tenía en el año 2010, lo que evidencia el efecto de una matriz de generación que se ha ido diversificando con generación eléctrica hidráulica y de energías renovables no convencionales entre otras y por tanto disminuyendo su factor de emisión.

- Teniendo en cuenta lo anterior, la principal causa del aumento en la emisión de GEI indirectos, por el lado minero propiamente tal, se debe al mayor consumo de energía eléctrica en la minería del cobre en el período analizado, principalmente por la electricidad usada en chancado y molienda por mayor dureza del mineral, mayor volumen de mineral procesado en plantas concentradoras tanto por baja de leyes como también porque hay una mayor producción de concentrados, esto último se espera se acentúe a futuro, básicamente por la disminución de minerales lixiviables disponibles y por tanto un mayor procesamiento de minerales sulfurados.
- Cabe señalar, que el proceso de concentración tiene además de un uso intensivo de energía eléctrica, un mayor consumo de agua. Ello sumado al restrictivo escenario de abastecimiento de agua que enfrenta la minería, ha hecho que el uso de agua de mar en sus operaciones sea una realidad y su consumo se incrementará en el futuro, tanto de manera directa (si la mineralogía del mineral así lo permite) como desalinizada. En ambos casos, el agua debe ser impulsada a las faenas mineras lo que incrementa aún más la demanda de energía eléctrica en el total de energía usada por minería del cobre.



**5. Anexo:** Tablas contienen datos de emisión de GEI indirectos reportados en este informe.

**Tabla 2:** Consumo de electricidad por proceso en los sistemas interconectados SING y SIC.

Proceso	Sistema Interconectado	Unidad	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Mina Rajo	SING	TJ	3.130	3.521	3.085	3.796	4.151	3.948
	SIC	TJ	994	799	768	721	784	777
Total Nacional		TJ	4.124	4.320	3.853	4.518	4.936	4.725
Mina Subterránea	SING	TJ	33	39	112	115	192	14
	SIC	TJ	1.280	1.377	1.621	1.609	1.622	1.558
Total Nacional		TJ	1.295	1.529	1.729	1.725	1.814	1.571
Concentradora	SING	TJ	12.121	14.796	15.991	16.897	18.333	19.819
	SIC	TJ	18.517	18.495	22.451	24.537	25.352	24.641
Total Nacional		TJ	30.638	33.290	38.442	41.434	43.685	44.460
Fundición	SING	TJ	2.642	3.088	2.982	2.857	2.902	2.404
	SIC	TJ	3.147	2.346	3.661	3.636	3.642	3.500
Total Nacional		TJ	5.789	5.434	6.643	6.493	6.544	5.904
Refinería	SING	TJ	669	600	484	407	437	491
	SIC	TJ	705	758	754	720	722	698
Total Nacional		TJ	1.373	1.358	1.238	1.127	1.160	1.189
LX/SX/EW	SING	TJ	19.714	20.391	18.104	19.554	18.834	18.480
	SIC	TJ	2.378	2.494	2.168	2.276	1.918	1.981
Total Nacional		TJ	22.092	22.884	20.272	21.830	20.752	20.460
Servicios	SING	TJ	2.366	1.490	2.707	2.634	2.615	4.545
	SIC	TJ	1.252	1.680	1.002	1.324	1.756	2.164
Total Nacional		TJ	3.618	3.170	3.709	3.958	4.371	6.709
TOTAL NACIONAL	SING	TJ	40.674	43.925	43.466	46.260	47.465	49.700
	SIC	TJ	28.273	27.949	32.425	34.824	35.796	35.319

Fuente: Elaborado por Cochilco



**Tabla 3:** Emisiones indirectas de GEI por proceso en los sistemas interconectados SING y SIC

Proceso	Sistema Interconectado	Unidad	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Mina Rajo	SING	ton CO2 eq	621.607	709.053	864.114	855.224	911.538	837.806
	SIC	ton CO2 eq	109.956	64.230	80.938	86.571	78.446	74.678
Total Nacional		ton CO2 eq	731.563	773.283	945.052	941.795	989.984	912.484
Mina Subterránea	SING	ton CO2 eq	6.489	7.784	35.758	25.971	42.196	2.939
	SIC	ton CO2 eq	121.308	156.859	170.477	193.114	162.176	149.701
Total Nacional		ton CO2 eq	127.796	164.643	206.235	219.085	204.372	152.641
Concentradora	SING	ton CO2 eq	2.407.365	2.979.694	3.538.703	3.834.350	4.023.034	4.206.036
	SIC	ton CO2 eq	1.779.647	1.947.086	2.482.906	2.944.473	2.535.196	2.368.301
Total Nacional		ton CO2 eq	4.187.013	4.926.779	6.021.609	6.778.823	6.558.229	6.574.337
Fundición	SING	ton CO2 eq	524.654	621.928	645.374	647.115	636.836	510.155
	SIC	ton CO2 eq	306.946	237.924	384.912	436.309	364.223	336.426
Total Nacional		ton CO2 eq	831.601	859.852	1.030.286	1.083.424	1.001.059	846.580
Refinería	SING	ton CO2 eq	132.822	120.869	105.924	91.693	95.994	104.130
	SIC	ton CO2 eq	68.660	77.470	77.548	86.441	72.211	67.116
Total Nacional		ton CO2 eq	201.482	198.339	183.472	178.134	168.205	171.246
LX/SX/EW	SING	ton CO2 eq	3.915.416	4.106.513	4.381.200	4.404.992	4.133.004	3.921.820
	SIC	ton CO2 eq	239.781	212.488	204.502	273.114	191.761	190.349
Total Nacional		ton CO2 eq	4.155.197	4.319.001	4.585.703	4.678.106	4.324.765	4.112.170
Servicios	SING	ton CO2 eq	469.874	300.101	632.714	593.381	573.864	964.636
	SIC	ton CO2 eq	126.612	177.291	85.440	158.875	175.615	207.937
Total Nacional		ton CO2 eq	596.485	477.392	718.153	752.256	749.479	1.172.573
TOTAL NACIONAL	SING	ton CO2 eq	8.078.227	8.845.941	10.203.787	10.452.726	10.416.465	10.547.522
	SIC	ton CO2 eq	2.752.910	2.873.348	3.486.723	4.178.897	3.579.628	3.394.509

Fuente: **Elaborado por Cochilco**

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

**Rosana Brantes A.**

Analista Estrategia y Políticas Públicas

**Jorge Cantallopts Araya**

Director de Estudios y Políticas Públicas

Octubre / 2016

