



Actualización de la información sobre emisiones de gases de efecto invernadero directos en la minería del cobre al año 2013

DE /15/2014

Índice

1. Introducción.....	1
2. Metodología.....	2
3. Resultados.....	6
3.1 Consumo de combustibles en la minería del cobre.....	6
3.2 Emisiones de gases de efecto invernadero directas.....	8
3.3 Emisiones de GEI directas por proceso minero.....	9
3.4 Coeficientes unitarios por cobre fino.....	11
3.5 Coeficientes unitarios por mineral extraído en mina.....	12
4. Comentarios finales.....	14

Índice de figuras

Figura 1: Áreas de proceso en la minería del cobre.....	3
Figura 2: Consumo de combustibles en la minería del cobre al 2013.....	6
Figura 3: Consumo de Diesel por proceso en la minería del cobre al 2013.....	7
Figura 4: Emisiones de gases de efecto invernadero directas asociadas a la minería del cobre.....	8
Figura 5: Emisiones de GEI directos por proceso.....	10
Figura 6: Coeficientes unitarios de emisiones de GEI por tonelada de cobre fino.....	11
Figura 7: Coeficientes unitarios de emisiones de GEI por tonelada de mineral extraído en mina rajo y en mina subterránea.....	12

Índice de tablas

Tabla 1: Factores de emisión y fracción de carbono oxidado.....	4
Tabla 2: Factores de emisión de CH ₄ y N ₂ O.....	5



1. Introducción

Los estudios referentes a los posibles impactos de los escenarios futuros coinciden en que los cambios esperados en temperatura, precipitación, nivel y acidificación de los mares, ente otros, aumentarán el estrés que el hombre ya ejerce a través de sus múltiples actividades sobre los ecosistemas y la Biodiversidad. Chile tiene emisiones de gases de efecto invernadero bajas a nivel mundial, sin embargo es un país vulnerable al fenómeno global del cambio climático pues las emisiones están aumentando a tasas de crecimiento muy altas. De acuerdo al informe de Cambio Climático¹ presentado por el Ministerio de Medio Ambiente, las emisiones de gases de efecto invernadero están correlacionadas con el crecimiento económico y con el aumento de la población. Desde 1990 al 2006, las emisiones de gases de efecto invernadero de Chile (excluido uso de la tierra y silvicultura), aumentaron aproximadamente un 70%, el PIB lo hizo a más del doble y la población creció alrededor de un 25%. En este contexto, el país se hizo parte del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y del Protocolo de Kioto y presentó, en el año 2008, un Plan de Acción Nacional de Cambio Climático que incluye medidas de adaptación al cambio climático, mitigación de emisiones de Gases de efecto invernadero y fomento de capacidades.

Bajo este escenario la Comisión Chilena del Cobre, en cooperación para el cumplimiento de los compromisos adquiridos por el país en materia de cambio climático, mantiene una línea de trabajo para identificar, cuantificar y analizar la evolución que las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la minería del cobre en Chile han registrado desde el año 2001 en adelante.

El principal objetivo de este informe es determinar las emisiones directas, o de alcance 1, de gases de efecto invernadero (en adelante GEI) por parte de la minería del cobre en Chile, de acuerdo a la información entregada anualmente por las empresas mineras directamente a COCHILCO. Por otra parte el informe ahonda en las emisiones directas de acuerdo al área de proceso, identificando las emisiones correspondientes al área mina, área planta concentradora, el tratamiento de los minerales lixiviables y el área de refinación y fundición.

Los datos que dan base al informe se obtienen de una encuesta realizada a las principales compañías mineras de cobre desde la I Región de Tarapacá hasta la VI Región de O'Higgins, las cuales se desarrolla la mayoría de la actividad minera cuprífera, quienes de manera voluntaria hacen entrega de la información. El alcance de este análisis comprende las empresas productoras de cobre representando alrededor de un 98% de la producción nacional del año 2013, gracias a la continua colaboración de las empresas mineras que año a año han informado su consumo en cada proceso.

¹ Informe Cambio Climático MMA.



2. Metodología

En cuanto a las fuentes emisoras que 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 se enfoca únicamente en las emisiones de alcance 1 correspondientes a la minería del cobre en el país.

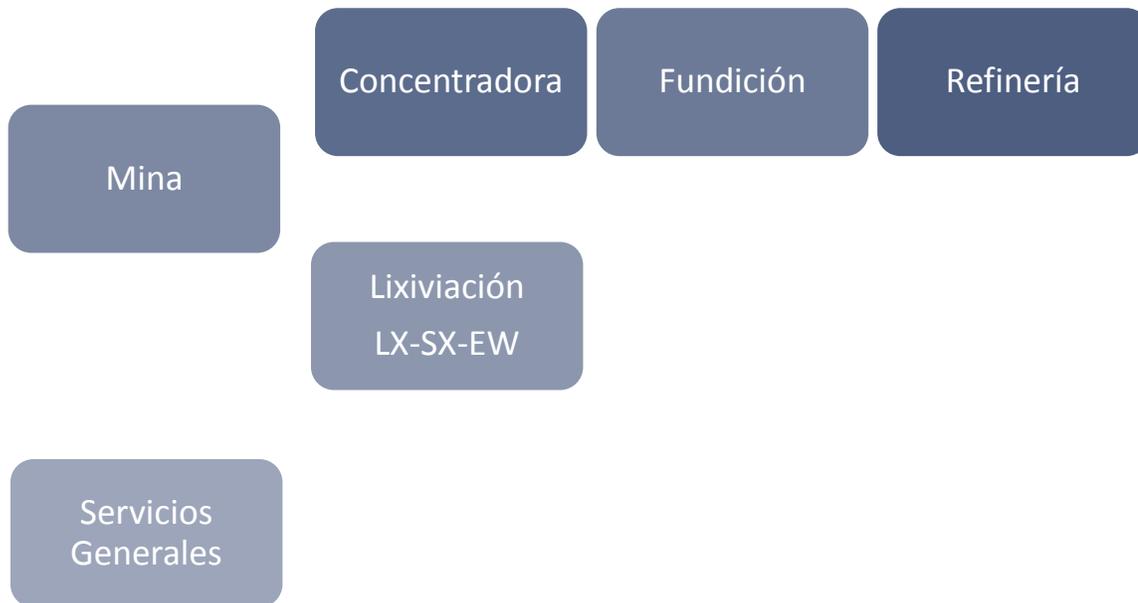
El cálculo de las emisiones de GEI se circunscribe a las emisiones de Dióxido de Carbono CO₂, Metano CH₄ y Óxido Nitroso N₂O, puesto que éstos son los GEI relevantes para el caso de la minería del cobre. El estudio se limita a las emisiones directas o de alcance 1, que corresponden a aquellas generadas por la combustión de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural) debidas a la operación de las unidades productivas y de servicios. Entre las principales emisiones se encuentran las generadas por la combustión en fuentes fijas, en equipo de proceso; hornos de fundición, convertidores, tostador, secadores, etc., y calderas para servicios. Otra fuente la constituye la combustión en equipos móviles, por el transporte y traslado de materiales en vehículos pesados y personal en vehículos livianos, que utilizan gasolina y diesel.

El sistema incluye todos los procesos mineros, desde la extracción del mineral hasta la producción de los concentrados y cátodos de cobre, subdivididos en algunos procesos unitarios genéricos. Los productos incluidos en el estudio son los productos comerciales de la minería del cobre: concentrados de cobre; ánodos de cobre; cátodos electro-refinados (cátodos ER); y cátodos electro-obtenidos (cátodos EO).

Las áreas de proceso en que se categorizaron las emisiones de GEI son seis; el área mina, el área de la planta concentradora, el área de lixiviación (LXSXEW), el área de fundición, el área de refinación y finalmente el área de servicios.



Figura 1: Áreas de proceso en la minería del cobre



Fuente: Cochilco

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.

Las emisiones se calculan en términos de CO₂ equivalente asociadas a cada tipo de combustible.

$$G_f = E_f \times E_{ff} \times FOC \times \frac{44}{12}$$

Donde:

G_f = Emisiones de Carbono (ton CO₂ equivalente)

E_f = Energía calculada para ese consumo de combustible (TJ)

E_{ff} = Factor de emisión del combustible (ton C/TJ)

FOC = Fracción de carbono oxidado

$44/12$ = Relación entre los pesos moleculares del Dióxido de Carbono (CO₂) y el Carbono (C)



Los valores utilizados para el factor de emisión del combustible (E_{ff}) y la fracción de carbono oxidado (FOC) se muestran en la tabla 2.

Tabla 1: Factores de emisión y fracción de carbono oxidado

Tipo de Combustible	Factor de Emisión E _{ff} (Kg/GJ)	Fracción de carbono oxidado (FOC)
Diesel	20,2	1
Kerosene	19,6	1
Petróleo Combustible	21,1	1
Nafta	20	1
Gasolina	18,9	1
Gas Licuado	17,2	1
Gas Natural	15,3	1
Carbón	25,8	1
Leña	30	1

Fuente: Guía GEI 2006, IPCC

Ahora bien, para determinar las emisiones de los gases CH₄ y N₂O asociadas al uso directo de cada tipo de combustible, se utilizaron las fórmulas de conversión mostradas a continuación.

$$\text{Emisión CH}_4 = \text{Ef} \times \text{Factor de Emisión CH}_4 \times \frac{21}{1000}$$

$$\text{Emisión N}_2\text{O} = \text{Ef} \times \text{Factor de Emisión N}_2\text{O} \times \frac{310}{1000}$$

Donde:

Emisión CH₄ = Emisiones de CH₄ expresadas como emisiones de CO₂ equivalente (ton CO₂ equivalente)

Emisión N₂O = Emisiones de N₂O expresadas como emisiones de CO₂ equivalente (ton CO₂ equivalente)



Actualización de la información sobre emisiones de gases de efecto invernadero directos en la minería del cobre al año 2013

Los factores de emisión son función del tipo de combustible y del tipo de uso que se le ha dado. 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.

En la tabla 3 se indican los factores de emisión para cada gas según tipo de combustible y el uso que se le da. Al revisar los factores de emisión entregados por la guía revisada del IPCC al 2006 se observa que aquellos referentes a la industria del cobre no están actualizados y se mantienen los factores de emisión calculados en 1996.

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)
Diesel	Vehículos Pesados	4	2
Gasolina	Vehículos Livianos	7,5	43
Petróleo	Secadores	1	0,6
Diesel	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: Guía GEI revisada 1996, IPCC



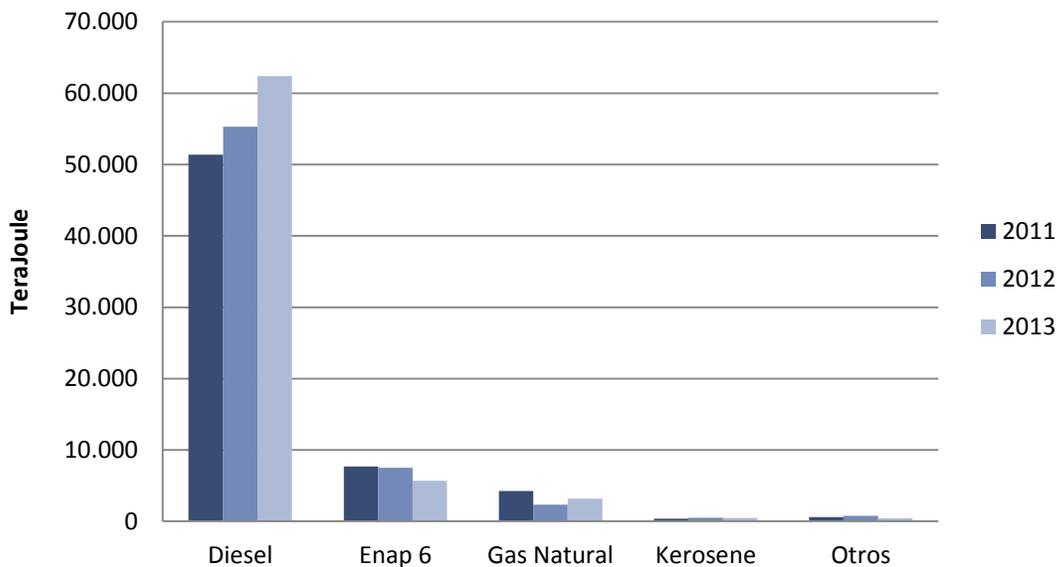
3. Resultados

3.1 Consumo de combustibles en la minería del cobre

En esta sección se presentan los principales consumos de combustibles, pues las emisiones de GEI directos mantienen una relación inmediata con el consumo de combustibles, ya que tienen una relación causa-efecto, si se mantiene el *mix* de combustibles, a mayor consumo de combustibles con altos factores de emisión como es el diesel, mayor serán las emisiones de GEI.

En primer lugar se realizará un diagnóstico de la distribución de los combustibles a nivel país, luego un análisis del uso del diesel en los distintos procesos y finalmente el resultado de las emisiones totales de gases de efecto invernadero, producto de ellos.

Figura 2: Consumo de combustibles en la minería del cobre al 2013



Fuente: Cochilco

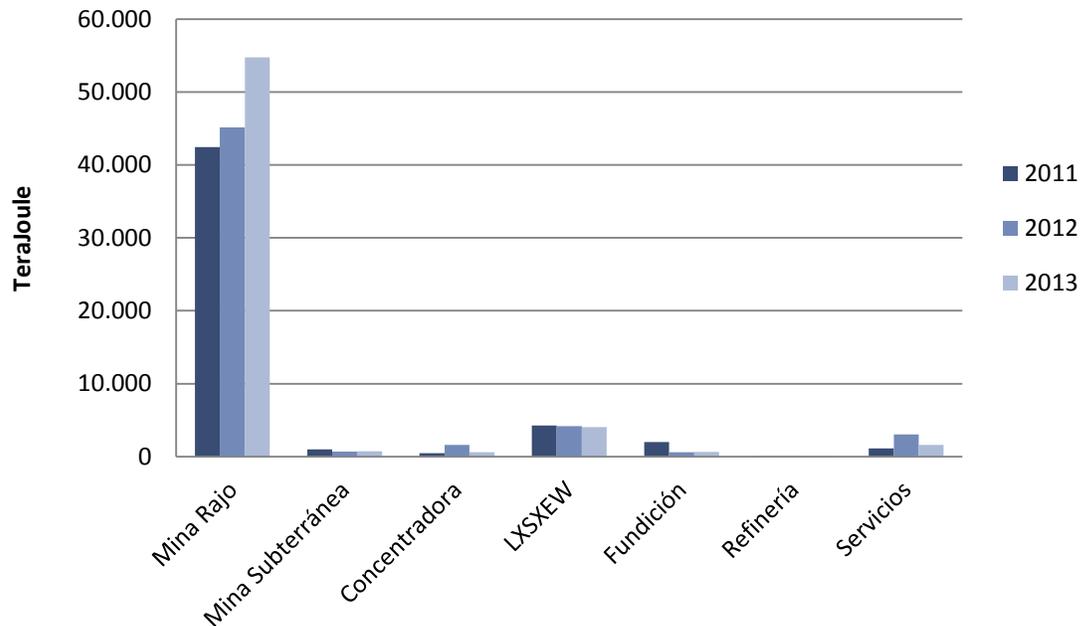
La figura 2 muestra el consumo de combustibles en la minería del cobre por tipo de combustible, donde el mayor consumo es el diesel. Durante el 2013 el diesel alcanzó el 86,5% del *mix* de combustibles utilizados. Este aumento se debe a dos razones principalmente. La primera corresponde a la estabilización de producción de un grupo de importantes faenas de la gran minería las cuales alcanzan su producción de diseño lo que incide en el aumento de consumo energético, las cuales debido a diferentes situaciones operacionales habían sufrido una merma de producción en los años 2011 - 2012.



Actualización de la información sobre emisiones de gases de efecto invernadero directos en la minería del cobre al año 2013

Al ser el diesel uno de los combustibles con mayor factor de emisión y uno de los más utilizados en la minería del cobre, merece ser detallado.

Figura 3: Consumo de Diesel por proceso en la minería del cobre al 2013



Fuente: Cochilco

El proceso que ha influido en mayor manera en el aumento del consumo de combustibles en minería es la Mina Rajo. Este aumento se debe principalmente a variables estructurales como el aumento de las distancias de acarreo de los camiones, a la disminución de las leyes de mineral y a la mayor dureza, lo que se traduce en un aumento en el consumo de combustibles.

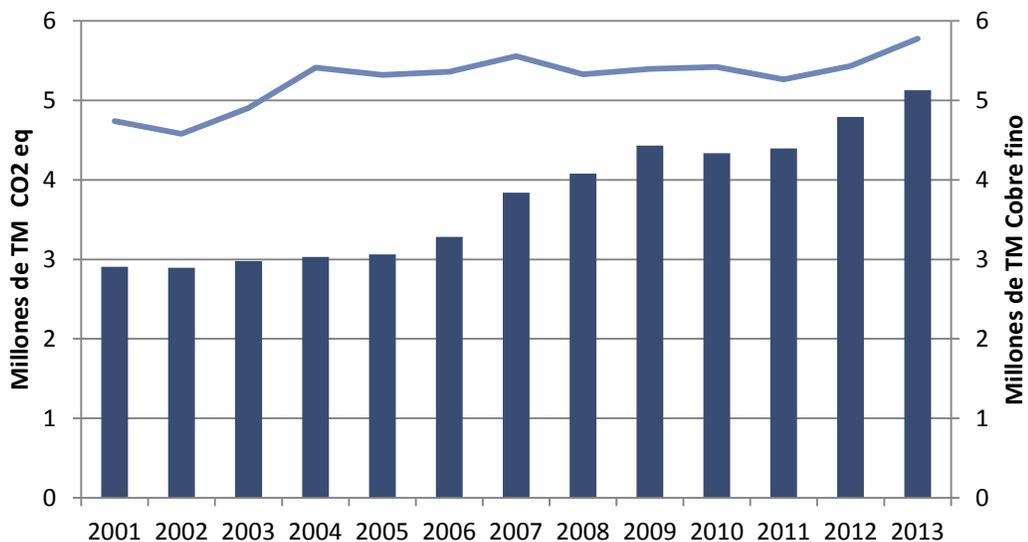
El diesel es utilizado en el transporte de mineral y lastre en cargadores y camiones dentro de la operación. A nivel nacional la tendencia de las leyes de los minerales ha disminuido año a año, por lo que resulta necesario procesar una mayor cantidad de mineral. Por otra parte el envejecimiento de las operaciones y las mayores distancias de acarreo conlleva un mayor consumo de diesel para trasladar el mineral a las plantas y el lastre a los botaderos. Es por ello que el uso de diesel en la mina ha visto un aumento en los últimos años.

3.2 Emisiones de gases de efecto invernadero directas

Conscientes de la importancia del cobre para el país, y al mismo tiempo de la necesidad de adaptarse a las nuevas exigencias del mercado internacional, las empresas de la minería del cobre en Chile se han esmerado en estimar y reportar la huella de carbono de sus procesos y productos. La contabilización de emisiones de alcance 1 se reduce a la quema de los combustibles utilizados en las faenas. El uso de combustibles se presenta en el transporte de minerales, materiales y personal; en los procesos mineros y metalúrgicos; y en la administración y campamentos.

En general la minería del cobre tuvo un total de 5,13 millones de toneladas de CO₂ equivalente de emisiones ge GEI directas durante el 2013, valor que presentó un aumento del 7% respecto al año anterior.

Figura 4: Emisiones de gases de efecto invernadero directas asociadas a la minería del cobre



Fuente: Cochilco

Como se observa en la figura 4 las emisiones de GEI directas han visto una tendencia creciente en el tiempo al igual que la producción, que el 2013 tuvo un aumento del 6,3% respecto al año anterior.

Esta tendencia sucesiva es producto del consumo de combustibles con altos factores de emisión como se estudió en el punto 3.1 del presente informe.



3.3 Emisiones de GEI directas por proceso minero

En la minería del cobre los principales procesos productivos para el desarrollo de la actividad se clasifican en; Mina Rajo, Mina Subterránea, Concentradora, Fundición, Refinería, LX-SX-EW y el área de Servicios. Cada uno de ellos consume en mayor o menor medida combustibles, y por ende es responsable de una cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero directas.

Procesos modelados:

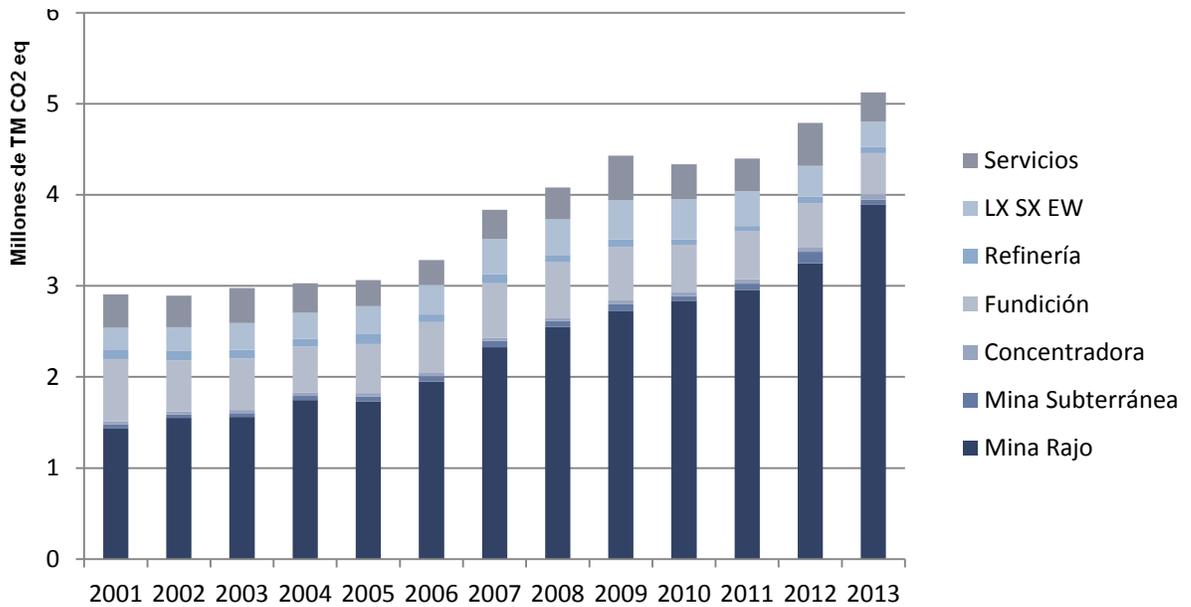
- **Extracción:** Se refiere a la extracción del estéril y mineral en la mina más el chancado del mineral. La mina puede ser tanto Mina Rajo como Mina Subterránea.
- **Concentración:** Toma el mineral sulfurado proveniente del chancado y lo lleva al proceso de molienda, para luego continuar con los procesos de flotación, espesamiento, filtrado y secado. El resultado es el concentrado de cobre.
- **Fundición:** Proceso que se inicia con la Fusión (convertidor u Horno), donde se alimenta con el concentrado de cobre. Luego continúa con la Conversión, teniendo como resultado al Cobre Blister. El Cobre Blister se lleva al proceso de Refinado a Fuego, donde se obtiene como producto ánodo o RAF.
- **Refinería:** Toma el ánodo proveniente del Refinado a Fuego, y lo transforma en cátodo ER.
- **LX-SX-EW:** Toma el mineral oxidado proveniente del chancado y lo pasa sucesivamente por la lixiviación, extracción por solvente, y electro obtención, obteniendo así el cátodo EO.
- **Servicios:** Se trata de todas aquellas actividades que no pueden ser adjudicadas con claridad a ninguno de los otros procesos. Se cuentan entre ellas los campamentos, administración, y el transporte de personal.

A continuación se busca analizar la participación de cada una de estas áreas en el total de las emisiones de GEI directas asociadas a la minería. Identificar los procesos que afectan en mayor grado las emisiones de GEI nos permite establecer lineamientos y detectar los desafíos pertinentes para lograr disminuir las emisiones.



Actualización de la información sobre emisiones de gases de efecto invernadero directos en la minería del cobre al año 2013

Figura 5: Emisiones de GEI directos por proceso



Fuente: Cochilco

De acuerdo a la figura 5, vemos que las emisiones de GEI directas provienen en su mayoría del proceso Mina Rajo para la extracción de mineral, principalmente debido al uso de combustibles para el acarreo del mineral.

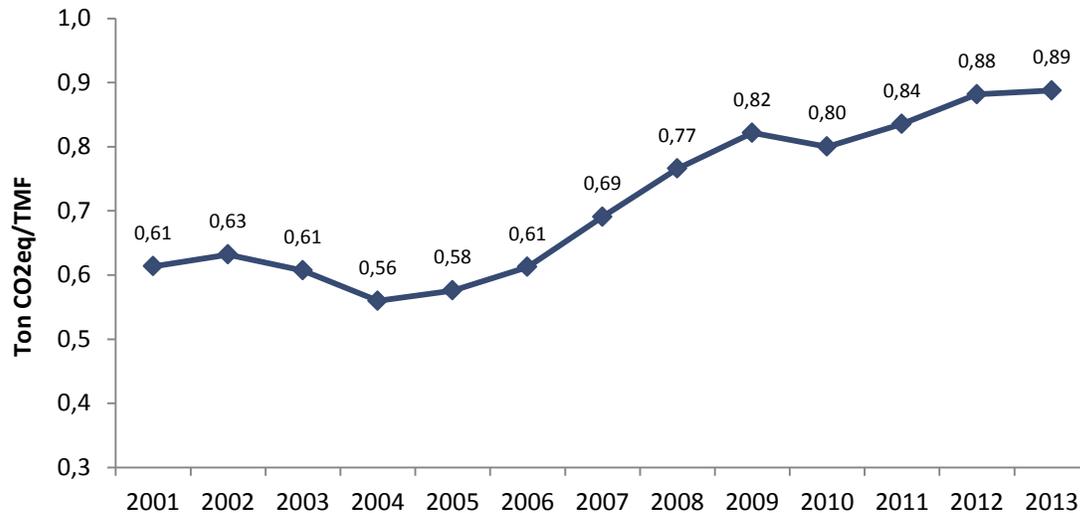
Enfocándonos en el 2013, el área Mina Rajo representa el 76% de las emisiones de GEI directas, seguido por la fundición con un 8,8% y servicios con 6,3% del total. Por su parte el área de Lixiviación aporta el 5,4% de las emisiones de GEI directas, mientras que la Refinería, Concentradora y Mina Subterránea solo el 1% respectivamente, ya que se consume mayor electricidad que combustibles para el proceso.



Actualización de la información sobre emisiones de gases de efecto invernadero directos en la minería del cobre al año 2013**3.4 Coeficientes unitarios por cobre fino**

Los coeficientes unitarios hacen referencia a la cantidad de emisiones directas de GEI por cada tonelada de cobre fino producida.

Figura 6: Coeficientes unitarios de emisiones de GEI por tonelada de cobre fino



Fuente: Cochilco

Según se observa en la figura 6 se detalla la evolución de los consumos unitarios, donde se ve un aumento en la intensidad de emisiones de GEI directas por tonelada de cobre fino producido.

Como vimos en el punto 3.1 del informe, el uso del diesel ha visto un aumento en los últimos años lo que se ve reflejado en las emisiones de GEI. Si bien la producción de cobre fino ha visto un aumento, lo que debiese conllevar una disminución unitaria, el *mix* de combustibles ha visto un aumento en su factor de emisión en mayor medida; por lo tanto al usar combustibles con factores de emisión más altos, esto provoca un aumento en los GEI.



3.5 Coeficientes unitarios por mineral extraído en mina

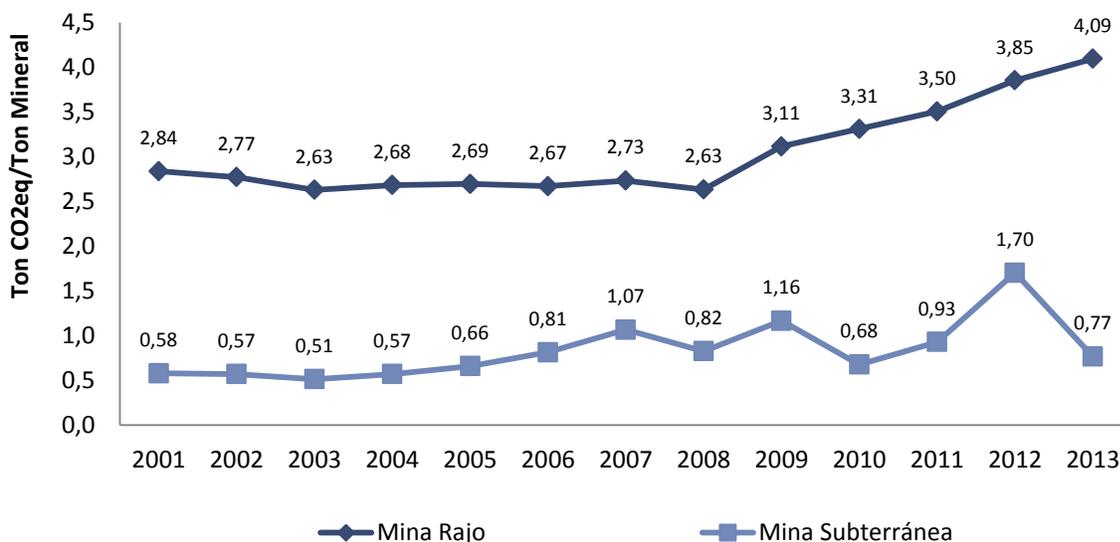
El deterioro de las características estructurales de la minería, entre las que destacan la a la tendencia decreciente en las leyes de los minerales, el envejecimiento de las operaciones, el aumento de la dureza, mayores distancias de acarreo, entre otros factores, seguirán siendo un factor decisivo en el mayor uso de energía, lo que lleva a un mayor uso de combustible y por ende a una mayor emisión de gases de GEI.

En ese sentido el sector Área Mina Rajo es el mayor responsable del conjunto de las emisiones de la minería del cobre en el país. Por las características estructurales mencionadas anteriormente, en los últimos años la cantidad de mineral procesado ha mantenido una tendencia creciente en la minería del cobre, es así como la cantidad de mineral procesado durante el año 2013 experimento un aumento cercano al 7% respecto al año anterior.

Como la cantidad de mineral extraído depende de factores ajenos a la eficiencia, resulta interesante evaluar la intensidad de las emisiones de GEI directas en el proceso de extracción independiente de la cantidad de mineral extraído.

Para ello calculamos los coeficientes unitarios de emisiones de GEI directos por tonelada de mineral extraído en el área mina rajo y mina subterránea, como muestra la figura 7.

Figura 7: Coeficientes unitarios de emisiones de GEI por tonelada de mineral extraído en mina rajo y en mina subterránea



Fuente: Cochilco



Actualización de la información sobre emisiones de gases de efecto invernadero directos en la minería del cobre al año 2013

Se observa que la intensidad de emisiones directas durante la extracción del mineral en la mina rajo ha visto una tendencia creciente en los últimos años, esto precisamente por el tipo de combustibles utilizado en este proceso, en su mayoría diesel. No obstante la intensidad de emisiones de GEI directos en la mina subterránea es considerablemente menor, puesto que es mayormente dependiente de energía eléctrica para la extracción del mineral.

En este punto, resulta necesario analizar las distintas opciones de combustibles con menor factor de emisión para la mina rajo, de manera de poder reducir las emisiones directas de GEI, o estudiar la implementación de tecnologías de eficiencia energética para el transporte en la minería.

Otro aspecto a considerar es la utilización de combustibles no convencionales de bajas emisiones de GEI.



4. Comentarios finales

Las emisiones de GEI directos en el año 2013 alcanzaron los 5,13 millones de ton CO₂eq, en el sector de la minería del cobre, desde la I Región de Tarapacá hasta la VI Región de O'Higgins. Esto representa un aumento de 0,33 millones de ton CO₂eq respecto al año anterior, que alcanzó los 4,8 millones de ton CO₂eq. A nivel de proceso, el 76% de las emisiones de GEI directas corresponden a la extracción de minerales en el área mina rajo, mientras que el 8,8% es para el proceso de fundición, seguidas por el área de servicios con el 6,3%. Por su parte el área de lixiviación aporta el 5,4% en el proceso de obtención de cátodos electro obtenidos, mientras que la Refinería, Concentradora y Mina Subterránea solo el 1% respectivamente, ya que se consume mayor electricidad que combustibles para el proceso.

En relación a los coeficientes unitarios de emisiones directas de GEI, que permiten evaluar la intensidad de emisiones independiente del mineral o producción, vemos que la tendencia ha ido en aumento principalmente por el factor de emisión del *mix* de combustibles utilizados. Respecto a los coeficiente unitario por tonelada de cobre fino producido se ve un leve aumento en la intensidad de emisiones de GEI directas por cada tonelada de cobre fino producido, alcanzando los 0,89 ton de CO₂eq/ton producida. En el caso de los coeficientes unitarios por tonelada de mineral extraído en el área mina, se observa un aumento en el área mina rajo, llegando a 4,09 ton CO₂eq/ton mineral extraído, lo que significo un 6% más que el año anterior, esto debido al aumento en el uso de combustible diesel. Mientras que en área mina subterránea se ve una importante disminución producto de la mayor utilización de energía eléctrica para la extracción del mineral, llegando a los 0,77 ton CO₂eq/ton mineral extraído, correspondiente a un 54% menos que el año anterior.

El mineral procesado ha visto un aumento creciente los últimos años debido a la baja de las leyes de los minerales. Este aumento conlleva mayor cantidad de energía para procesar una mayor cantidad de mineral. Al analizar la energía utilizada en combustibles por tipo de combustible se obtiene que a nivel nacional en la industria del cobre el uso de diesel alcanza un 86,5%, el uso de Enap 6 un 7,9%, el gas natural un 4,4%, y finalmente el kerosene y otros combustibles el 1,2% restante.

Uno de los principales desafíos que plantea el cambio climático es el de prepararnos y adaptarnos a lo incierto. Los impactos asociados a la creciente magnitud y frecuencia de manifestaciones climáticas no sólo son difíciles de prever, sino que exigen tanto respuestas inmediatas, que mitiguen y alivien, así como el ajuste de prácticas y comportamientos que los minimicen o prevengan a futuro. Las estrategias de adaptación al cambio climático, deben considerar la multi-dimensionalidad de estos retos. Y frente a ellos, tanto la capacidad de innovar y de responder creativamente, como la capacidad de aprender de experiencias y conocimientos tanto tradicionales como nuevos, son factores clave.



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

Camila Montes Prunes
Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Jorge Cantallopts
Director de Estudios y Políticas Públicas

Noviembre 2014

