

Comisión Chilena del Cobre
Dirección de Estudios y Políticas Públicas

**CONSUMO DE ENERGÍA Y
EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO
DE LA MINERÍA DEL COBRE DE CHILE. Año 2008
DE/07/09**

Registro de Propiedad Intelectual
© N° 181718

INDICE

GLOSARIO	1
RESUMEN EJECUTIVO	2
INTRODUCCION	13
METODOLOGIA	14
PRINCIPALES RESULTADOS	14
1. Consumos Unitarios y Totales de Energía	14
2. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)	16
2.1 Emisiones de GEI de los sistemas de generación eléctrica	16
2.2 Emisiones de GEI asociadas a la producción de cobre	17
3. Consumos de Energía y Emisiones por Área de Producción	20
3.1 Consumo de energía	20
3.2 Emisiones de GEI	21
4. Demanda Unitaria de Energía y Cargas Unitarias de Emisión por Productos	25
4.1 Concentrados	25
4.2 Ánodos	26
4.3 Cátodos ER	27
4.4 Cátodos EO	29
4.5 Cátodos ER versus Cátodos EO	30
COMENTARIOS FINALES	32
Energía	32
Emisiones	35
Anexo I: Faenas Mineras incluidas en el Estudio	38
Anexo II: Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía	39
Anexo III: Cargas Unitarias de Emisión	41

GLOSARIO

CDEC: Centro de Despacho Económico de Carga

CNE: Comisión Nacional de Energía

CUE: Carga Unitaria de Emisión

DUE: Demanda Unitaria de Energía

EO: Cátodo electroobtenido (hidrometalurgia)

ER: Cátodo electrorefinado (pirometalurgia)

EW: Electroobtención

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GJ: Gigajoule = 10^9 Joule

GWh: Gigawatt-hora = 10^6 Kilowatt-hora = 3,6 Joule

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

KWh: Kilowatt-hora = $3,6 \times 10^6$ Joule

LX: Lixiviación

MJ: MegaJoule = 10^6 Joule

SIC: Sistema Interconectado Central

SING: Sistema Interconectado del Norte Grande

SX: Extracción por Solvente

TJ: Terajoule = 10^{12} Joule

TMF: Tonelada Métrica de Cobre Fino

RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo corresponde a una actualización al año 2008 de versiones anteriores de dos estudios realizados por la Comisión Chilena del Cobre, sobre consumos de energía y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la minería del cobre de Chile, los que pueden ser consultados en nuestra página web¹²³⁴⁵.

A diferencia de los estudios anteriores, en el presente estudio el período de análisis de la evolución de los consumos energéticos, combustibles y energía eléctrica del sector minería del cobre, así como las emisiones de GEI, se acota, en general, a sólo los últimos 5 años, comprendidos entre el 2004 y el 2008. Esta decisión se basa en que en este período la mayoría de las faenas mineras que entraron en operación a mediados de la década del 90 se encuentran operando a régimen, lo que permite análisis más representativos.

A contar de este año 2008 se realizará la actualización anual de este estudio, por una parte, para verificar los efectos que la estrechez en el abastecimiento de energía eléctrica a raíz de la crisis del gas natural puede haber tenido en la actividad de la minería del cobre y en las emisiones de GEI sectoriales, y por otra, porque a partir de este año se inició la publicación de las series aquí calculadas en el Anuario Estadísticas del Cobre y otros Minerales de COCHILCO.

Este trabajo cumple varios objetivos. El primero de ellos es contar con información actualizada, que permita visualizar la forma en que van evolucionando a través de los años los consumos energéticos del sector, producto de cambios tecnológicos, cambios en la cartera de productos comerciales u otros factores. Esto ha sido posible gracias a la amplia colaboración de las empresas que entregaron sus antecedentes para la elaboración de este trabajo⁶.

¹ Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía de la Minería del Cobre 1995 – 2004. Comisión Chilena del Cobre. http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2006.asp

² Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía de la Minería del Cobre 1995 – 2006. Comisión Chilena del Cobre. http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2007.asp

³ Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía de la Minería del Cobre 2001 – 2007. Comisión Chilena del Cobre. http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2008.asp

⁴ Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Minería del Cobre de Chile 2006. Comisión Chilena del Cobre. http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2007.asp

⁵ Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Minería del Cobre 2001 - 2007. Comisión Chilena del Cobre. http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2008.asp

⁶ ANEXO N° 1: Faenas Mineras incluidas en el Estudio.

Con la información generada por este estudio, COCHILCO elabora, además, un estudio prospectivo respecto de la demanda futura de energía eléctrica por parte de la minería del cobre.

Para la actualización de los estudios se ha utilizado la misma metodología que en las versiones anteriores de ellos, partiendo por una conceptualización del proceso de obtención del cobre a través de la definición de áreas, etapas y procesos que generan flujos de materiales característicos, cuyo volumen va decreciendo a medida que se avanza en el grado de refinación del producto. Con las definiciones se genera una encuesta que se envía a todas las principales empresas productoras y refinadoras.

Con la información proporcionada por las empresas, que representan el 99% de la producción de cobre de Chile del año 2008, respecto de consumo de combustibles y energía eléctrica en cada una de las áreas de producción de cobre, en el período considerado en el estudio, se calculó para cada área y cada faena los Coeficientes Unitarios Específicos para cada uno de los combustibles utilizados y la energía eléctrica, tanto por unidad de material tratado, como por unidad de material producido y cobre fino contenido en el material tratado. Luego, se determinó el promedio ponderado del Coeficiente Unitario Global de cada una de las áreas del proceso de producción de cobre en Chile.

En el ámbito de las emisiones de gases de efecto invernadero, se aborda el tema de las emisiones directas⁷ e indirectas⁸ de GEI asociadas al ciclo de vida de la cuna a la puerta de concentrados, ánodos y cátodos de cobre. El énfasis de este estudio está en generar información respecto de las emisiones de GEI de la minería del cobre en Chile, para sus productos comerciales más relevantes (concentrado de cobre, cátodos electrorefinados, cátodos electroobtenidos y ánodos) y áreas de procesos (mina, concentradora, fundición, refinería, lixiviación-extracción por solventes-electroobtención, y servicios) y cuantificar el impacto de la matriz energética en las emisiones de productos y procesos.

⁷Emisiones "in situ" resultantes de la combustión de combustibles fósiles.

⁸Emisiones producto del consumo de energía eléctrica, la mayor parte de la cual es generada por procesos que involucran la combustión de combustibles fósiles. También hay una pequeña contribución proveniente de las emisiones generadas por los procesos de producción de los combustibles utilizados por el sector, la que fluctúa alrededor del 1% del total de las emisiones originadas en la actividad de la minería del cobre

PRINCIPALES RESULTADOS

1. Consumos Unitarios y Totales de Energía

En el año 2008, a pesar que la producción de cobre se redujo, el consumo total de energía del sector minería del cobre se incrementó. Lo anterior significó que los coeficientes unitarios⁹ de consumo de energía total aumentaran en el último año en un 9%, resultando un valor promedio de 22.869 MJ/TMF.

Si para el análisis se toma como año base el 2004, año en que comenzaron las dificultades de abastecimiento gas natural, se tiene que los coeficientes unitarios de consumo de energía total de la minería del cobre de Chile se incrementaron en el período de 5 años en un 23%.

Los resultados indican que, mientras la producción total de cobre se redujo en 2% en el período de 5 años, el consumo total estimado de energía se incrementó en 21%, (de 100.341 Terajoule en el 2004 a 121.897 Terajoule en el año 2008). La energía consumida como combustibles se incrementó entre 2004 y 2008 en un 36%, mientras que el consumo de energía eléctrica lo hizo en 11%. Los coeficientes unitarios globales de consumo de combustibles tienen una tendencia creciente en los últimos 5 años, aumentando en el período en un 38% (12% sólo en el año 2008), mientras que la energía eléctrica experimenta un aumento de 13% (6% el 2008).

Es importante destacar que, entre los años 1995 y 2004 los coeficientes unitarios globales de consumo de combustibles muestran una tendencia decreciente (29%), sin embargo a contar del 2005 comienzan a incrementarse (34%), dando como resultado una reducción de 3% para el período de 14 años. Por su parte, los coeficientes unitarios de consumo de energía eléctrica, con algunas fluctuaciones, muestran una ligera tendencia permanentemente creciente, aumentando en los 14 años en un 22%. El resultado de estas tendencias es que, en el período de 14 años, el consumo unitario global de energía de la minería del cobre se incrementa en un 9%.

Lo anterior se explica por una multiplicidad de factores, tales como disminuciones en la ley de los minerales, aumento de las distancias de acarreo, cambios en la cartera de productos comerciales y cambios tecnológicos, que están indicando que el sector minería del cobre, en la segunda parte de esta década, está experimentando un aumento en la intensidad de uso de energía.

⁹ Consumo Unitario: energía consumida para producir una unidad de producto (1 tonelada de cobre fino contenido).

2. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

2.1 Emisiones de GEI de los sistemas de generación eléctrica

El estudio determinó que en el SIC el consumo de energía eléctrica destinada a la producción de cobre aumentó en un 10,6%, de 23.235 Terajoule (TJ) en el 2004 a 25.701 TJ en el 2008 (17% de la generación neta del SIC). Cabe destacar que en el año 2008 el consumo de energía eléctrica de la minería del cobre abastecida por ese sistema de generación se redujo en un 0,7%. El aumento en el SING, durante el mismo período, fue de un 13,6%, desde 34.470 TJ a 39.148 TJ (78% de la generación neta del SING).

En relación a los coeficientes unitarios de emisión de los dos sistemas interconectados que abastecen a la minería del cobre, se observa que en el año 2004 en el SIC se emitieron 248,3 toneladas de CO₂ equivalente/GWh generado, mientras que en el SING se emitieron 696,0 toneladas de CO₂ equivalente/GWh. Es decir, en ese año, el SING emitió 2,8 veces más GEI que el SIC por cada GWh generado. En el año 2008 esa relación aumentó ligeramente a 2,9 veces (324,9 y 952,5 toneladas, respectivamente).

Lo anterior es el resultado de los cambios ocurridos en ambas matrices de generación eléctrica en el período analizado. Por una parte, el SING, que es prácticamente 100% térmico, en el año 2004 el 61,2% de la generación era con gas natural, que tiene un factor de emisión unitario de GEI menor que los otros combustibles, mientras que en el año 2008 el 58,8% de la energía eléctrica fue generada con carbón o mezcla de carbón y petcoke. En el SIC, por su parte, aumentó la participación de la generación térmica en desmedro de la generación hidroeléctrica y además se sustituyó el gas natural por diesel y carbón, lo que se tradujo en un incremento en las emisiones de GEI de este sistema.

2.2 Emisiones GEI asociados a la producción de cobre

Las emisiones de GEI de la producción de cobre crecieron entre al año 2004 y el 2008 en un 48% (de 11,5 a 17 millones de toneladas de CO₂ equivalente en el año 2008). Esto responde, principalmente, a las modificaciones que han experimentado los sistemas de generación eléctrica producto del déficit de abastecimiento de gas natural, pero también, aunque en menor medida, a los incrementos de consumo, tanto de combustible como de energía eléctrica.

La producción de cobre asociada al SING incrementa sus emisiones de GEI en mayor proporción (50%) que el aumento del consumo de energía (23,5%), lo que se debe a que este sistema de generación incrementó en el

período su emisión unitaria en un 37% por los cambios en los combustibles utilizados para la producción de electricidad. En el SIC, los aumentos en la emisión de GEI (40%) fueron proporcionalmente también mayores que aquellos del consumo de energía (14,7%), debido a que la emisión unitaria de ese sistema experimentó un aumento de 31% en el período de 5 años.

Es conveniente aclarar que, aún cuando las emisiones unitarias del SING se incrementaron en un 50%, mientras las del SIC aumentaron en un 59% entre los años 2001 y el 2008, las primeras siguen siendo muy superiores, debido a la predominancia de la generación térmica en ese sistema.

Específicamente, los coeficientes unitarios de consumo de energía de la producción de cobre a nivel nacional se incrementan en el período 2004-2008 en un 23%, mientras que aquellos de emisión de GEI muestran una mayor tendencia creciente, en particular a contar del año 2005, aumentando en los 5 años en un 52%.

Lo anteriormente detallado se explica, fundamentalmente, por el incremento en la emisión unitaria de GEI en ambos sistemas de generación, como resultado de la sustitución del gas natural por carbón y diesel, cuyos factores unitarios de emisión de GEI son superiores a los del gas natural, y además, un aumento de la generación térmica en el SIC en desmedro de la generación hidráulica.

El aumento de la participación del consumo de combustibles en el consumo total de energía de la minería del cobre, tanto en la producción de cobre asociada al SING como al SIC, se debe principalmente a un incremento en los coeficientes unitarios de consumo de las minas rajo, debido a un envejecimiento de las minas que produce una baja en las leyes de los minerales y mayores distancias de acarreo.

Este incremento en los consumos de combustibles, en desmedro de la electricidad, ha significado que por cuarto año consecutivo se ha reducido la participación de la energía eléctrica en el consumo total de energía del sector, que alcanzó su punto máximo en el año 2004. En el año 2008, un 53% de la energía se consumió como energía eléctrica y un 47% como combustibles.

En lo que dice relación con las emisiones directas (uso de combustibles fósiles directamente en el proceso) e indirectas (producto del consumo de energía eléctrica), ambas aumentan en el período en un 35% y 52% respectivamente. En el año 2008 la participación de las emisiones indirectas en las emisiones totales se eleva a 76%.

3. Consumos de Energía y Emisiones por Área de Producción

3.1 Consumo de energía

Al analizar la participación en el consumo total de energía de cada una de las áreas definidas del proceso de producción¹⁰ se observa que el área más consumidora de energía es la explotación minera (38%), seguida por la concentradora (24%). Es importante destacar que, mientras la explotación minera consume un 87% de su consumo total como combustibles, el consumo de energía del área de concentración de minerales es, en la práctica, casi exclusivamente energía eléctrica (97%). En el período 2004-2008, los consumos de energía como combustibles en la mina se incrementaron en 52% y el consumo de energía eléctrica en la concentradora aumentó en 5%.

En lo que se refiere al consumo de energía como combustibles, la explotación minera, que en 1995 consumía alrededor del 38% de los combustibles utilizados por la minería, fue incrementando su participación hasta alcanzar el 71% en el año 2008. Lo anterior se debe fundamentalmente a que las nuevas minas que han entrado en operación en el período son de rajo abierto, y a que, a medida que avanza la explotación de este tipo de minas, las distancias y pendientes de acarreo, tanto de los minerales como de los materiales estériles van aumentando, con el consiguiente aumento de consumo de combustibles.

Al analizar el consumo de energía eléctrica de la minería del cobre, destaca el hecho que la concentración de minerales sulfurados consume prácticamente la mitad del total de la energía eléctrica consumida por el sector, aunque ha disminuido su participación desde un 49% en 1995 a un 43% en el año 2008.

Los coeficientes unitarios de consumo de energía¹¹, combustibles y energía eléctrica, se incrementan en el período 2004-2008 en prácticamente todas las áreas, con la excepción de refinería electrolítica y servicios.

¹⁰ Mina rajo y subterránea, Concentradora, Fundición, Refinería Electrolítica, Tratamiento de Minerales Lixiviables y Servicios a la producción.

¹¹ Ver Anexo II

Coeficientes Unitarios de Consumo de Combustibles por Áreas
(por tonelada de fino en el producto de cada etapa)

	2004	2005	2006	2007	2008
Mina Rajo (MJ / TMF en mineral)	4.442,4	4.196,4	4.465,0	5.119,6	5.634,4
Mina Subterránea (MJ / TMF en mineral)	1.000,6	1.333,1	1.563,9	1.808,5	1.297,6
Mina (1) (MJ / TMF en mineral)	3.932,9	3.799,9	4.084,6	4.702,9	5.186,4
Concentradora (MJ / TMF en concentrado)	176,2	215,8	185,4	188,6	233,4
Fundición (MJ / TMF en ánodos)	4.699,8	4.965,3	4.827,9	4.964,9	5.170,3
Refinería (MJ / TMF en cátodos ER)	1.475,2	1.751,7	1.603,7	1.504,0	1.195,1
LX / SX / EW (MJ / TMF en cátodos SX-EW)	2.669,1	2.905,5	2.893,8	3.094,6	3.080,1
Servicios (MJ / TMF total producido)	318,6	278,3	280,0	266,1	256,7

(1) Promedio ponderado de los Coeficientes Unitarios de Mina Rajo y Subterránea.

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas.

Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía Eléctrica por Áreas
(por tonelada de fino en el producto de cada etapa)

	2004	2005	2006	2007	2008
Mina Rajo (MJ / TMF en mineral)	585,6	639,7	614,3	619,9	654,8
Mina Subterránea (MJ / TMF en mineral)	1.257,9	1.558,5	1.693,5	1.692,3	2.099,4
Mina (1) (MJ / TMF en mineral)	689,1	770,0	758,5	757,3	808,2
Concentradora (MJ / TMF en concentrado)	6.942,7	7.240,9	7.424,6	7.862,7	8.208,5
Fundición (MJ / TMF en ánodos)	3.836,2	3.771,7	3.778,7	3.887,1	3.692,1
Refinería (MJ / TMF en cátodos ER)	1.276,8	1.269,9	1.233,4	1.221,2	1.285,1
LX / SX / EW (MJ / TMF en cátodos SX-EW)	10.429,0	10.082,3	10.128,7	10.479,6	10.702,3
Servicios (MJ / TMF total producido)	515,9	576,1	502,5	443,2	558,0

(1) Promedio ponderado de los Coeficientes Unitarios de Mina Rajo y Subterránea.

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas.

3.2 Emisiones de GEI

En el período comprendido entre los años 2004 y 2008 las emisiones totales de GEI aumentan, en mayor o menor medida, en todas las áreas de producción de la minería del cobre.

El cálculo de las emisiones GEI totales por área del proceso, en el año 2008, muestra que el tratamiento de minerales lixiviables (30% del total de emisiones directas e indirectas generadas por el sector) desplazó a la concentradora (29%) como la principal área generadora de emisiones, seguidas luego por la mina rajo (21%) y la fundición (10%).

A continuación se muestra la evolución de los valores de las cargas unitarias de emisión (CUE), por áreas de producción, para el período que abarca el estudio.

Cargas Unitarias de Emisión por Áreas

	Unidades	2004	2005	2006	2007	2008
Mina Rajo	TM CO ₂ eq. /TMF mineral	0,38	0,42	0,44	0,47	0,55
Mina Subterránea	TM CO ₂ eq. /TMF mineral	0,17	0,20	0,22	0,31	0,28
Concentradora	TM CO ₂ eq. /TMF concentrado	0,92	0,92	1,04	1,40	1,50
Fundición	TM CO ₂ eq. /TMF ánodo	0,84	0,81	0,86	1,08	1,10
Refinería	TM CO ₂ eq. /TMF cátodo ER	0,24	0,25	0,22	0,30	0,30
LX-SX-EW	TM CO ₂ eq. /TMF cátodo EO	2,06	1,92	2,21	2,67	2,81
Servicios	TM CO ₂ eq. /TMF total producido	0,10	0,10	0,10	0,11	0,17

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas.

4. Demandas Unitarias de Energía y Cargas Unitarias de Emisión por Productos

El estudio calcula los consumos de energía y las emisiones de GEI asociadas a la producción de concentrados, ánodos, cátodos electrorefinados (ER) y cátodos electroobtenidos (EO), diferenciando según el sistema eléctrico que los abastece.

En relación a los concentrados, el estudio concluye que, si bien los consumos de energía para producir una tonelada de cobre fino contenido en la forma de concentrado, son relativamente similares en ambas matrices energéticas (SING 16,7 Gigajoule/TMF y SIC 16,2 Gigajoule/TMF en el año 2008), las cargas unitarias de emisión de cada uno de ellos difieren sustancialmente, siendo la de los concentrados SING entre 1,7 y 2,2 veces superior a la de los concentrados SIC. Esto es el resultado de lo ya

señalado: alto consumo de energía eléctrica en la concentradora y mayor generación térmica en el SING.

En el año 2008 un 37% de la producción chilena de cobre se exportó como concentrados y el resto como cobre refinado. Dentro de esta última categoría se produjeron 0,99 millones de TMF de cátodos electrorefinados (ER) y 1,97 millones de TMF de cátodos electroobtenidos (EO). Otro de los principales resultados del estudio llevado a cabo por COCHILCO es que, en ese año, si bien la producción de un cátodo ER demandó un 8% más de energía que la producción de uno EO (30,9 versus 28,4 Gigajoule, respectivamente), emitió un 5% menos de GEI (4,1 versus 4,3 toneladas de CO₂ equivalente, respectivamente).

Es decir, la comparación de cátodos ER y EO demuestra que, aún siendo los cátodos ER más consumidores de energía, los cátodos EO emiten, en términos unitarios, una mayor cantidad de GEI. Esto, debido a que el abastecimiento de la energía necesaria para la producción de estos últimos proviene fundamentalmente del SING que, como ya se ha señalado, posee un mayor factor de emisión de GEI.

Finalmente, en relación a la huella de carbono de los principales productos comerciales de cobre de Chile, se tiene que en el año 2008 los valores promedio ponderado país son los siguientes:

Producto	TM CO₂ equivalente/TMF
Concentrado	2,28
Cátodo Electrorefinado	4,09
Cátodos Electroobtenido	4,31

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas.

ALGUNAS REFLEXIONES FINALES

El punto más relevante de destacar es que los resultados muestran que a contar del 2007, y con mayor acento aún el 2008, se revierte la tendencia observada desde el año 1995, en el sentido que tanto los consumos de energía como las emisiones crecían de manera correlacionada con la producción de cobre, pero siempre en un porcentaje inferior a ésta.

Los resultados al año 2008, en cuanto al aumento de los consumos totales y unitarios de energía en el período que comprende el estudio, que se explican por una multiplicidad de factores, tales como disminuciones en la ley de los minerales, aumento de las distancias de acarreo, cambios en la cartera de productos comerciales y cambios tecnológicos, están indicando que el sector minería del cobre, en los 4 últimos años ha experimentado un aumento en la intensidad de uso de energía.

Los patrones de consumo de energía de la minería del cobre cambiaron fuertemente entre 1995 y el año 2005, en el sentido de un aumento en la importancia relativa del consumo de energía eléctrica. Este último año la energía eléctrica daba cuenta de un 58% del consumo total de energía. Sin embargo, a partir del 2006 esta tendencia se revierte y en el año 2008 un 53% corresponde a energía eléctrica y un 47% a una variada gama de combustibles.

Los principales combustibles consumidos directamente por la minería del cobre en el año 2008 son: petróleo Diesel (79,6%), Enap 6 (16,7%) y Gas Natural (1,7%), siendo marginal la participación de los otros combustibles (carbón, kerosene, gas licuado y gasolinas). El hecho más destacable es que, producto de la reducción en el abastecimiento de gas natural, éste baja su participación en el consumo directo del sector minero de un 13,3% a un 1,7% entre los años 2004 y 2008, mientras que el petróleo diesel la sube de un 69,1% a un 79,6%. El principal consumo de gas natural corresponde a las fundiciones de concentrados de cobre.

De lo anterior, se puede concluir que los recortes en el abastecimiento de gas natural, que han afectado al país desde el año 2004, no han tenido un impacto directo respecto de la actividad minera del cobre, pero sí sobre los costos de la energía eléctrica consumida, principalmente porque la utilización de combustibles alternativos, más caros, por parte de las empresas generadoras ha hecho subir los precios de este insumo estratégico para la minería.

Más aún, además del alza en los costos unitarios de energía, la minería del cobre ha incrementado en los últimos años sus consumos de combustibles y electricidad, tanto en valores absolutos como en términos unitarios, por tonelada de cobre fino producido.

Las dificultades en el abastecimiento de gas natural se ven reflejadas en los resultados obtenidos para las emisiones del sector, en especial en los últimos 5 años. Las emisiones unitarias totales de GEI experimentan un aumento de 50%, alcanzando en el 2008 un valor de 3,19 TM CO₂ equivalente / TMF producido. Esto es producto, por una parte, de una menor generación hidráulica en particular en el SIC, y por otra, de los problemas de abastecimiento de gas natural, que ha significado la necesidad de sustituir, en gran escala, gas natural por otros combustibles (carbón y diesel), con coeficientes unitarios de emisión mucho más elevados, en las plantas de generación de energía eléctrica

El aumento de las emisiones unitarias totales se ha visto impulsado, principalmente, por el aumento de las emisiones indirectas que crecen en el período en un 52%, debido al incremento de los coeficientes unitarios de emisión de ambos sistemas de generación. Además, la participación de las emisiones indirectas (uso de energía eléctrica) en las emisiones totales del sector aumenta de un 74% a un 76% el año 2008.

En términos de emisiones de GEI, la conclusión más evidente es la cada vez mayor relevancia que tiene el perfil de emisiones del sistema interconectado de generación de electricidad sobre el perfil de emisiones de las distintas áreas y, en último término, del producto unitario. En el año 2008, un 53% del consumo de energía en la producción de cobre fue energía eléctrica, por consiguiente, resulta claro que, en importante medida, futuras reducciones de emisiones GEI de la minería dependen del diseño de políticas energéticas eficientes en términos de emisiones GEI, para los sistemas de generación eléctrica.

Sin embargo, también es claro el desafío directo que la temática del calentamiento global, asociada a la emisión de GEI, presenta a la minería, sector clave de la economía chilena, más aún si se tiene en consideración el aumento en la intensidad de uso de energía que ha experimentado la actividad en los últimos años.

El sector minero en Chile enfrenta la posibilidad de avanzar gradualmente, anticipándose y contribuyendo al buen diseño de eventuales regulaciones en materia de emisiones de GEI.

Los resultados de este estudio facilitan a las empresas mineras el proceso de identificar las áreas de producción donde hay mayores oportunidades para implementar proyectos de eficiencia energética y reducción de emisiones de GEI, incluyendo oportunidades de desarrollo de negocios a través del Mecanismo de Desarrollo Limpio con transacción de bonos de carbono, así como también, la posibilidad de reemplazar las fuentes de energía eléctrica por otras fuentes de energía renovables no convencionales.

INTRODUCCION

Este trabajo corresponde a una actualización al año 2008 de versiones anteriores de dos estudios realizados por la Comisión Chilena del Cobre, sobre consumos de energía y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la minería del cobre de Chile, los que pueden ser consultados en nuestra página web¹²¹³¹⁴¹⁵¹⁶.

A diferencia de los estudios anteriores, en el presente estudio el período de análisis de la evolución de los consumos energéticos, combustibles y energía eléctrica del sector minería del cobre, así como las emisiones de GEI, se acota, en general, a sólo los últimos 5 años, comprendidos entre el 2004 y el 2008. Esta decisión se basa en que en este período la mayoría de las faenas mineras que entraron en operación a mediados de la década del 90 se encuentran operando a régimen, lo que permite análisis más representativos.

A contar de este año 2008 se realizará la actualización anual de este estudio, por una parte, para verificar los efectos que la estrechez en el abastecimiento de energía eléctrica a raíz de la crisis del gas natural puede haber tenido en la actividad de la minería del cobre y en las emisiones de GEI sectoriales, y por otra, porque a partir de este año se inició la publicación de las series en el Anuario Estadísticas del Cobre y otros Minerales de COCHILCO.

Este trabajo cumple varios objetivos. El primero de ellos es contar con información actualizada, que permita visualizar la forma en que van evolucionando a través de los años los consumos energéticos del sector, producto de cambios tecnológicos, cambios en la cartera de productos comerciales u otros factores. Esto ha sido posible gracias a la amplia colaboración de las empresas que entregaron sus antecedentes para la elaboración de este trabajo¹⁷.

Con la información generada por este estudio, COCHILCO elabora, además, un estudio prospectivo respecto de la demanda futura de energía eléctrica por parte de la minería del cobre.

¹² Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía de la Minería del Cobre 1995 – 2004.

Comisión Chilena del Cobre. http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2006.asp

¹³ Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía de la Minería del Cobre 1995 – 2006.

Comisión Chilena del Cobre. http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2007.asp

¹⁴ Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía de la Minería del Cobre 2001 – 2007.

Comisión Chilena del Cobre. http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2008.asp

¹⁵ Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Minería del Cobre de Chile 2006.

Comisión Chilena del Cobre. http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2007.asp

¹⁶ Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Minería del Cobre 2001 - 2007. Comisión Chilena del Cobre. http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2008.asp

¹⁷ ANEXO N° 1: Faenas Mineras incluidas en el Estudio.

METODOLOGIA

Para la actualización de los estudios se ha utilizado la misma metodología que en las versiones anteriores de ellos, partiendo por una conceptualización del proceso de obtención del cobre a través de la definición de áreas, etapas y procesos que generan flujos de materiales característicos, cuyo volumen va decreciendo a medida que se avanza en el grado de refinación del producto. Con las definiciones se genera una encuesta que se envía a todas las principales empresas productoras y refinadoras.

Con la información proporcionada por las empresas, que representan el 99% de la producción de cobre de Chile del año 2008, respecto de consumo de combustibles y energía eléctrica en cada una de las áreas de producción de cobre, en el período considerado en el estudio, se calculó para cada área y cada faena los Coeficientes Unitarios Específicos para cada uno de los combustibles utilizados y la energía eléctrica, tanto por unidad de material tratado, como por unidad de material producido y cobre fino contenido en el material tratado. Luego, se determinó el promedio ponderado del Coeficiente Unitario Global de cada una de las áreas del proceso de producción de cobre en Chile.

En el ámbito de las emisiones de gases de efecto invernadero, se aborda el tema de las emisiones directas¹⁸ e indirectas¹⁹ de GEI asociadas al ciclo de vida de la cuna a la puerta de concentrados, ánodos y cátodos de cobre. El énfasis de este estudio está en generar información respecto de las emisiones de GEI de la minería del cobre en Chile, para sus productos comerciales más relevantes (concentrado de cobre, cátodos electrorefinados, cátodos electroobtenidos y ánodos) y áreas de procesos (mina, concentradora, fundición, refinería, lixiviación-extracción por solventes-electroobtención, y servicios) y cuantificar el impacto de la matriz energética en las emisiones de productos y procesos.

PRINCIPALES RESULTADOS

1. Consumos Unitarios y Totales de Energía

En el año 2008, a pesar que la producción de cobre se redujo, el consumo total de energía del sector minería del cobre se incrementó. Lo anterior significó que los coeficientes unitarios²⁰ de consumo de energía total

¹⁸Emisiones "in situ" resultantes de la combustión de combustibles fósiles.

¹⁹Emisiones producto del consumo de energía eléctrica, la mayor parte de la cual es generada por procesos que involucran la combustión de combustibles fósiles. También hay una pequeña contribución proveniente de las emisiones generadas por los procesos de producción de los combustibles utilizados por el sector, la que fluctúa alrededor del 1% del total de las emisiones originadas en la actividad de la minería del cobre

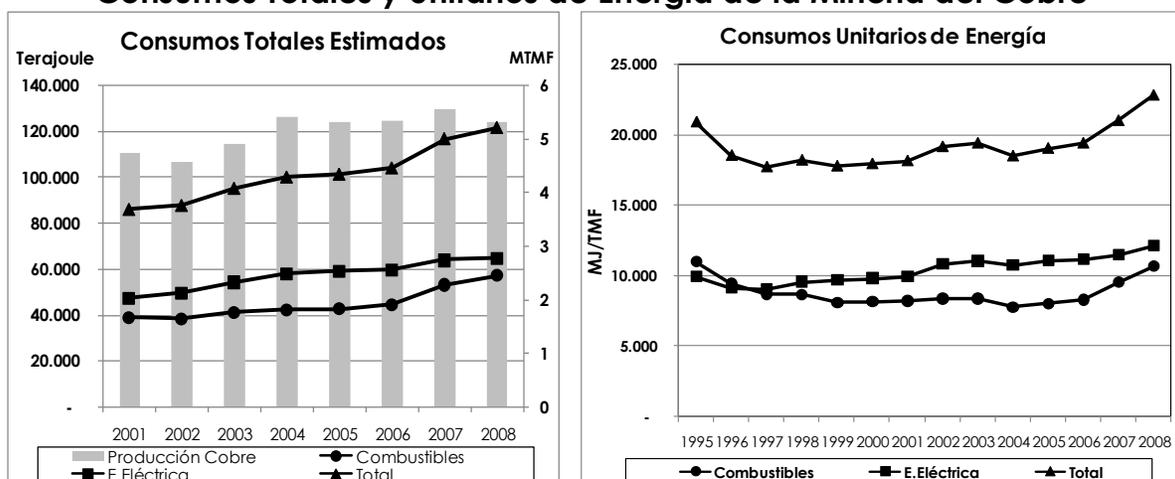
²⁰ Consumo Unitario: energía consumida para producir una unidad de producto (1 tonelada de cobre fino contenido).

aumentaran en el último año en un 9%, resultando un valor promedio de 22.869 MJ/TMF.

Si para el análisis se toma como año base el 2004, año en que comenzaron las dificultades de abastecimiento gas natural, se tiene que los coeficientes unitarios de consumo de energía total de la minería del cobre de Chile se incrementaron en el período de 5 años en un 23%.

Los resultados indican que, mientras la producción total de cobre se redujo en 2% en el período de 5 años, el consumo total estimado de energía se incrementó en 21%, (de 100.341 Terajoule en el 2004 a 121.897 Terajoule en el año 2008). La energía consumida como combustibles se incrementó entre 2004 y 2008 en un 36%, mientras que el consumo de energía eléctrica lo hizo en 11%. Debido a la caída en la producción, los coeficientes unitarios globales de consumo de combustibles tienen una tendencia creciente en los últimos 5 años, aumentando en el período en un 38% (12% sólo en el año 2008), mientras que la energía eléctrica experimenta un aumento de 13% (6% el 2008).

Figura N° 1
Consumos Totales y Unitarios de Energía de la Minería del Cobre



Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas

Es importante destacar que, entre los años 1995 y 2004 los coeficientes unitarios globales de consumo de combustibles muestran una tendencia decreciente (29%), sin embargo a contar del 2005 comienzan a incrementarse (34%), dando como resultado una reducción de 3% para el período de 14 años. Por su parte, los coeficientes unitarios de consumo de energía eléctrica, con algunas fluctuaciones, muestran una ligera tendencia permanentemente creciente, aumentando en los 14 años en un 22%. El resultado de estas tendencias es que, en el período de 14 años, el

consumo unitario global de energía de la minería del cobre se incrementa en un 9%.

Lo anterior se explica por una multiplicidad de factores, tales como disminuciones en la ley de los minerales, aumento de las distancias de acarreo, cambios en la cartera de productos comerciales y cambios tecnológicos, que están indicando que el sector minería del cobre, en la segunda parte de esta década, está experimentando un aumento en la intensidad de uso de energía.

2. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

2.1 Emisiones de GEI de los sistemas de generación eléctrica

El estudio determinó que en el SIC el consumo de energía eléctrica destinada a la producción de cobre aumentó en un 10,6%, de 23.235 Terajoule (TJ) en el 2004 a 25.701 TJ en el 2008 (17% de la generación neta del SIC). Cabe destacar que en el año 2008 el consumo de energía eléctrica de la minería del cobre abastecida por ese sistema de generación se redujo en un 0,7%.

El aumento en el SING, durante el mismo período, fue de un 13,6%, desde 34.470 TJ a 39.148 TJ (78% de la generación neta del SING).

En relación a los coeficientes unitarios de emisión de los dos sistemas interconectados que abastecen a la minería del cobre, se observa que en el año 2004 en el SIC se emitieron 248,3 toneladas de CO₂ equivalente/GWh generado, mientras que en el SING se emitieron 696,0 toneladas de CO₂ equivalente/GWh. Es decir, en ese año, el SING emitió 2,8 veces más GEI que el SIC por cada GWh generado. En el año 2008 esa relación aumentó ligeramente a 2,9 veces (324,9 toneladas y 952,5 toneladas, respectivamente).

Lo anterior es el resultado de los cambios ocurridos en ambas matrices de generación eléctrica en el período analizado. Por una parte, el SING, que es prácticamente 100% térmico, en el año 2004 el 61,2% de la generación era con gas natural, que tiene un factor de emisión unitario de GEI menor que los otros combustibles, mientras que en el año 2008 el 58,8% de la energía eléctrica fue generada con carbón o mezcla de carbón y petcoke.

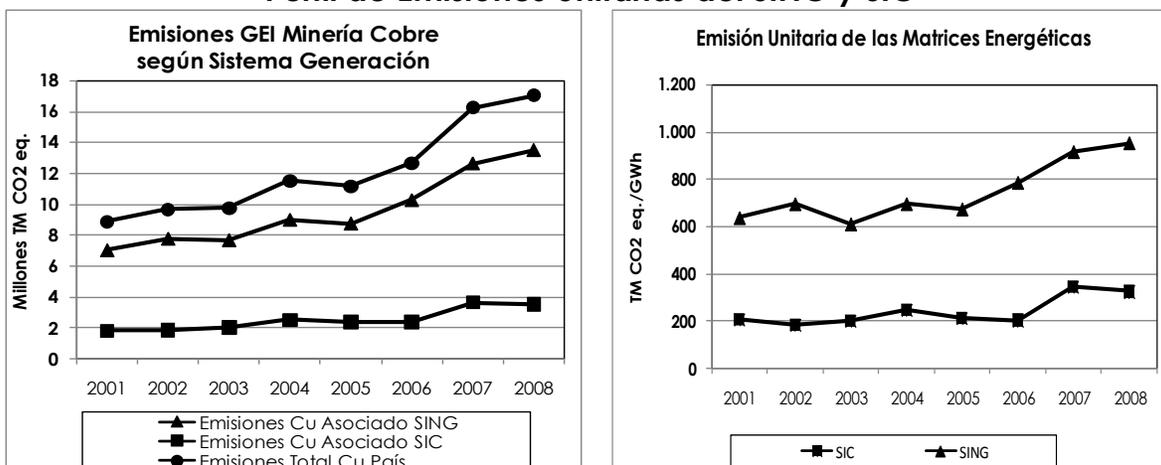
En el SIC, por su parte, aumentó la participación de la generación térmica en desmedro de la generación hidroeléctrica y además se sustituyó el gas natural por diesel y carbón, lo que se tradujo en un incremento en las emisiones de GEI de este sistema.

2.2 Emisiones de GEI asociadas a la producción de cobre

Las emisiones de GEI de la producción de cobre crecieron entre al año 2004 y el 2008 en un 48% (de 11,5 a 17 millones de toneladas de CO₂ equivalente en el año 2008). Esto responde, principalmente, a las modificaciones que han experimentado los sistemas de generación eléctrica producto del déficit de abastecimiento de gas natural, pero también, aunque en menor medida, a los incrementos de consumo, tanto de combustible como de energía eléctrica.

La producción de cobre asociada al SING incrementa sus emisiones de GEI en mayor proporción (50%) que el aumento del consumo de energía (23,5%), lo que se debe a que este sistema de generación incrementó en el período su emisión unitaria en un 37% por los cambios en los combustibles utilizados para la producción de electricidad. En el SIC, los incrementos en la emisión de GEI (40%) fueron proporcionalmente también mayores que aquellos del consumo de energía (14,7%), debido a que la emisión unitaria de ese sistema experimentó un aumento de 31% en el período de 5 años.

Figura N° 2
Emisiones de GEI de la Minería del Cobre según Sistema de Generación y Perfil de Emisiones Unitarias del SING y SIC



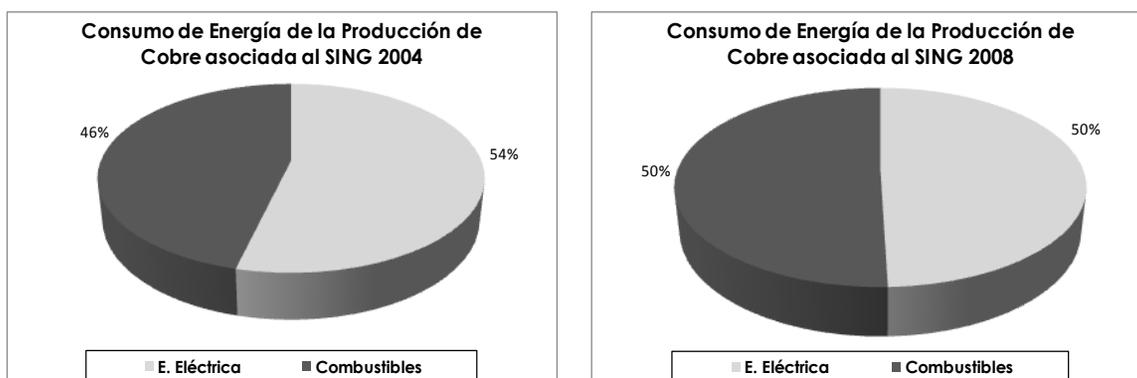
Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas, la CNE y el CDEC

Es conveniente aclarar que, tal como se muestra en los gráficos anteriores, aún cuando las emisiones unitarias del SING se incrementaron en un 50%, mientras las del SIC aumentaron en un 59% en el período de 8 años, las primeras siguen siendo muy superiores, debido a la predominancia de la generación térmica en ese sistema ubicado en regiones áridas donde no existen cursos de agua con potencial hidroeléctrico.

Específicamente, los coeficientes unitarios de consumo de energía de la producción de cobre a nivel nacional se incrementan en el período 2004-

2008 en un 23%, mientras que aquellos de emisión de GEI muestran una mayor tendencia creciente, en particular a contar del año 2005, aumentando en los 5 años en un 50%.

Lo anteriormente detallado se explica, fundamentalmente, por el incremento en la emisión unitaria de GEI en ambos sistemas de generación, como resultado de la sustitución del gas natural por carbón y diesel, cuyos factores unitarios de emisión de GEI son superiores a los del gas natural, y además, un aumento de la generación térmica en el SIC en desmedro de la generación hidráulica.



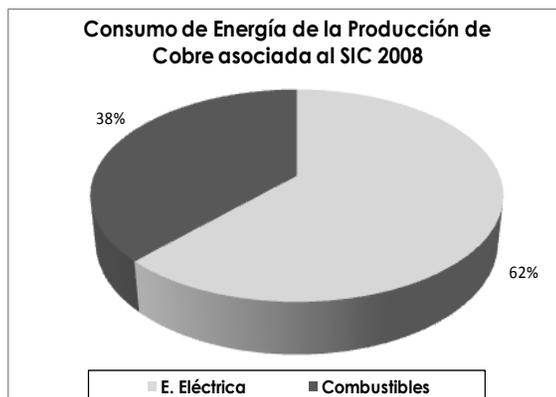
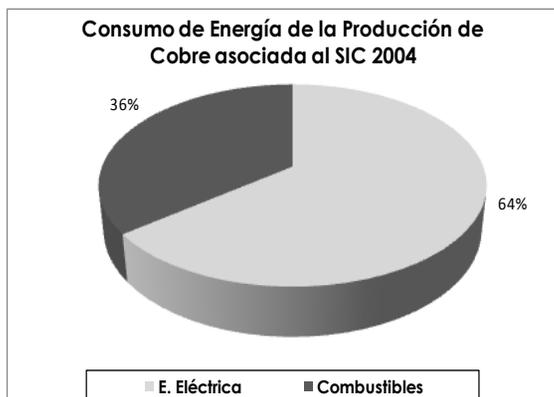
Matriz Energética del SING 2004 y 2008

COMBUSTIBLE	2004	2008
Diesel	1,0%	27,1%
Petróleo Combustible	0,2%	2,3%
Carbón Bituminoso	37,6%	41,5%
Gas Natural	61,2%	11,9%
Carbón + Petcoke		17,3%
Total Generación Térmica	99,5%	99,5%
Total Generación Hidráulica	0,5%	0,5%
Total Generación	100,0%	100,0%

Fuente: Elaborado sobre la base de los Anuarios CDEC SING

El aumento de la participación del consumo de combustibles en el consumo total de energía de la minería del cobre, tanto en la producción de cobre asociada al SING como al SIC, se debe principalmente a un incremento en los coeficientes unitarios de consumo de las minas rajo, debido a un envejecimiento de las minas que produce una baja en las leyes de los minerales y mayores distancias de acarreo.

Este incremento en los consumos de combustibles, en desmedro de la electricidad, ha significado que por cuarto año consecutivo se ha reducido la participación de la energía eléctrica en el consumo total de energía del sector, que alcanzó su punto máximo en el año 2004. En el año 2008, un 53% de la energía se consumió como energía eléctrica y un 47% como combustibles.



Matriz Energética del SIC 2004 y 2008

COMBUSTIBLE	2004	2008
Diesel	3,6%	50,3%
Petróleo Combustible	0,2%	0,9%
Carbón Bituminoso	27,7%	20,7%
Carbón +Petcoke		16,6%
Gas natural	64,3%	6,7%
Desechos forestales + Licor Negro	4,2%	4,8%
Total Generación Térmica	42,5%	47,1%
Total Generación Hidráulica	57,5%	52,9%
Total Generación Eólica		0,01%
Total Generación	100,0%	100,0%

Fuente: Elaborado sobre la base de Anuario CDEC SIC 2002 y 2007

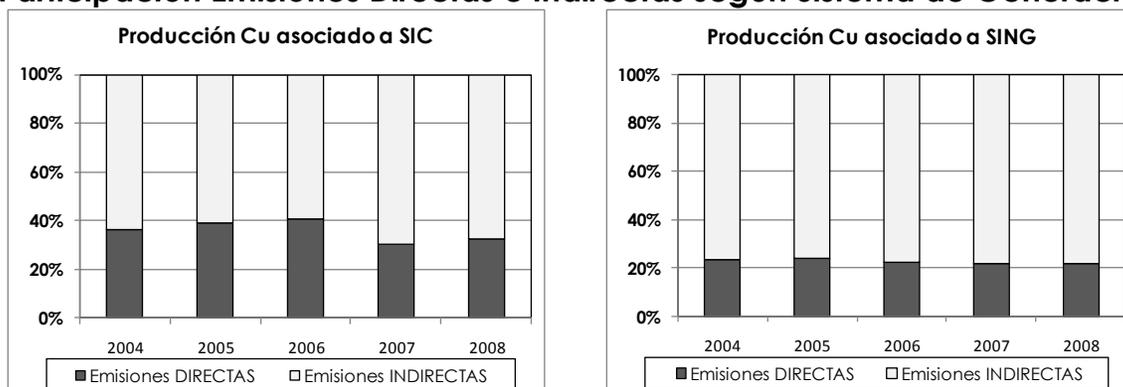
Los altos porcentajes de generación en base a diesel es una situación transitoria, que se mantendrá mientras se normaliza el abastecimiento de gas natural, con la construcción de las plantas de gas natural licuado (GNL), y la entrada en operación de centrales de generación a carbón.

En lo que dice relación con las emisiones directas (uso de combustibles fósiles directamente en el proceso) e indirectas (producto del consumo de energía eléctrica) en la siguiente Figura N°3 se puede observar que, para la producción de cobre asociada al SIC las emisiones directas disminuyen en el período 2004-2008 de un 36% a un 32%, mientras las indirectas (abastecida por el SIC) se incrementan de un 64% a un 68%. Lo anterior se explica básicamente por el incremento en los coeficientes unitarios de emisión del SIC que se reflejan en un aumento de las emisiones indirectas.

Por su parte, en el período, la proporción de las emisiones generadas por la producción de cobre asociada al SING se mantiene relativamente estable, las directas bajan de 24% a 22%, mientras las indirectas suben de 76% a 78%, influenciadas por las mayores emisiones de GEI asociadas al SING.

Figura N° 3

Participación Emisiones Directas e Indirectas según Sistema de Generación



Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas.

3. Consumos de Energía y Emisiones por Área de Producción

3.1 Consumo de energía

Al analizar la participación en el consumo total de energía de cada una de las áreas definidas del proceso de producción²¹ se observa que el área más consumidora de energía es la explotación minera (38,2%), seguida por la concentradora (23,6%). Es importante destacar que, mientras la explotación minera consume un 87% de su consumo total como combustibles, el consumo de energía del área de concentración de minerales es, en la práctica, casi exclusivamente energía eléctrica (97%). En el período 2004-2008, los consumos de energía como combustibles en la mina se incrementaron en 52% y el consumo de energía eléctrica en la concentradora aumentó en 5%.

Un hecho destacable es que, gracias a la disminución en su consumo unitario de energía, el área de fundición entre 1995 y 2008 disminuyó su participación relativa en el consumo total de energía del sector desde un 31,5% a un 10,3%, no obstante que la producción del área se incrementó en un 6%. Por los resultados obtenidos, el área pareciera haber alcanzado un punto de equilibrio desde la perspectiva de la tecnología utilizada, donde es poco probable lograr nuevas reducciones en los consumos unitarios de energía, a menos que se produzca un nuevo cambio tecnológico.

En lo que se refiere al consumo de energía como combustibles, la explotación minera, que en 1995 consumía alrededor del 38% de los combustibles utilizados por la minería, fue incrementando su participación hasta alcanzar el 71% en el año 2008. Lo anterior se debe fundamentalmente a que las nuevas minas que han entrado en operación

²¹ Mina rajo y subterránea, Concentradora, Fundición, Refinería Electrolítica, Tratamiento de Minerales Lixiviabiles y Servicios a la producción.

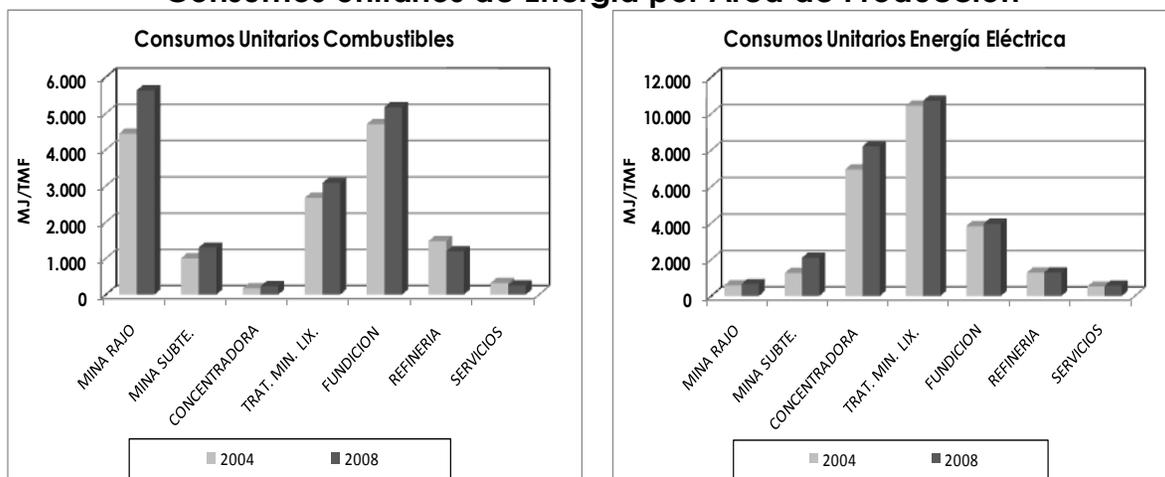
en el período son de rajo abierto, y a que, a medida que avanza la explotación de este tipo de minas, las distancias y pendientes de acarreo, tanto de los minerales como de los materiales estériles van aumentando, con el consiguiente aumento de consumo de combustibles.

Al analizar el consumo de energía eléctrica de la minería del cobre, destaca el hecho que la concentración de minerales sulfurados consume prácticamente la mitad del total de la energía eléctrica consumida por el sector, aunque ha disminuido su participación desde un 49% en 1995 a un 43% en el año 2008.

Otro hecho relevante es el importante aumento de participación en el consumo energético del área de tratamiento de minerales lixiviables, de un 10% en 1995 a un 22% en el 2008. Esto se debe al fuerte incremento en la producción de cobre a partir de este tipo de minerales, y a que las distintas etapas del procesamiento son fundamentalmente consumidoras de energía eléctrica (bombeo de soluciones en la etapa de lixiviación y extracción por solvente, y la electrodeposición).

Los coeficientes unitarios de consumo de energía²², combustibles y energía eléctrica, se incrementan en el período 2004-2008 en prácticamente todas las áreas, con la excepción de refinería electrolítica y servicios.

Figura N° 4
Consumos Unitarios de Energía por Área de Producción



Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas.

3.2 Emisiones de GEI

En el período comprendido entre los años 2004 y 2008 las emisiones totales de GEI aumentan, en mayor o menor medida, en todas las áreas de

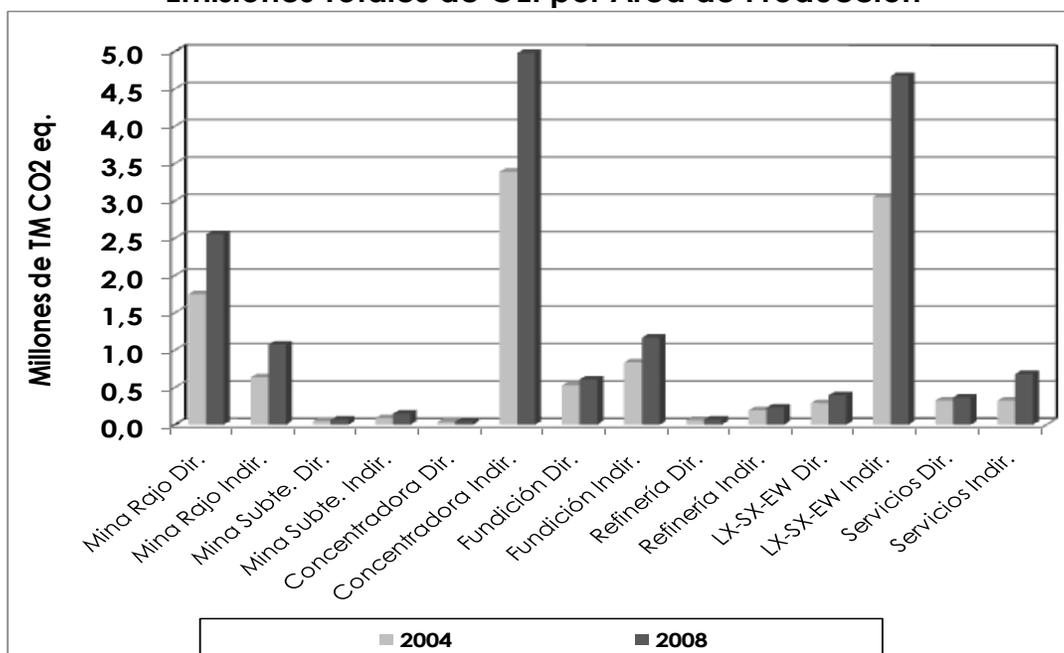
²² Ver Anexo II

producción de la minería del cobre, como se muestra en la Figura N° 5 siguiente.

Las emisiones en el área mina rajo se incrementan en un 52% en el período, mientras la producción de cobre fino de mina aumenta sólo en 4%. Su participación en las emisiones totales se mantiene en 21%.

Las emisiones directas en el área mina rajo disminuyen su participación a un 70%, mientras que las emisiones indirectas suben de 27 a 30%.

Figura N° 5
Emisiones Totales de GEI por Área de Producción



Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas.

La Carga Unitaria de Emisión²³ (CUE) de las minas rajo SING aumenta en un 36% entre el 2004 y 2008, mientras que la de las minas rajo del SIC lo hacen en un 70%. Debido a que la producción de cobre de mina rajo proviene mayoritariamente (83%) de minas asociadas al SING, los promedios ponderados país de la CUE para mina rajo siguen una tendencia similar a aquellas de las minas rajo SING, con un valor de CUE para el año 2008 de 0,55 TM CO₂ / TMF en mineral.

En el área mina subterránea las emisiones de GEI se incrementan en un 57% en el período y la producción de cobre fino disminuye un 14%. Su

²³ Carga Unitaria de Emisión (CUE) corresponde a las toneladas de CO₂ emitido por tonelada de cobre fino producido.

participación en las emisiones totales se mantiene relativamente estable en el período en torno a 1,2%.

La producción de cobre de mina subterránea proviene mayoritariamente (98%) de minas asociadas al SIC. Las emisiones de las minas subterráneas asociadas al SIC se incrementan en el período en un 69%, mientras la producción de cobre fino de este tipo de mina en el SIC se reduce un 10%.

Los promedios ponderados país de la CUE para mina subterránea siguen la misma tendencia de aquellas de las minas subterráneas SIC, por la importancia de la producción de cobre proveniente de estas minas en el SIC, resultando un valor de CUE para el año 2008 de 0,28 TM CO₂ / TMF en mineral.

El área de concentración de minerales sulfurados de cobre consume principalmente energía eléctrica (chancado y molienda), por lo que sus emisiones están muy influidas por los coeficientes unitarios de emisión de los sistemas de generación eléctrica.

Las emisiones totales de GEI del área concentradora se incrementan en un 47% entre el 2004 y el 2008, mientras que el cobre fino contenido en los concentrados producidos disminuye en 10%. Las emisiones directas son irrelevantes, ya que las indirectas constituyen el 99% de las emisiones durante todo el período.

Los promedios ponderados país de la CUE para plantas concentradoras muestran una clara tendencia creciente en el período (63%), alcanzando en el año 2008 un valor de 1,5 TM CO₂ / TMF en concentrado.

El área de fundición de concentrados de cobre, con una producción que se mantiene relativamente estable en el período, continúa disminuyendo su participación en las emisiones totales de la minería del cobre desde un 12% en 2004 a un 10% en el 2008. Las emisiones del área se incrementan en un 30%, principalmente en los tres últimos años, debido a los aumentos experimentados por los coeficientes unitarios de emisión de los sistemas de generación eléctrica.

La Carga de Emisión (CUE) de las fundiciones del SING aumenta en un 58% entre 2004 y 2008, y la de las fundiciones asociadas al SIC se incrementa en promedio un 17%, luego de experimentar una reducción de 14% en los primeros 3 años del período, lo que hace que los promedios ponderados país de la CUE para las fundiciones crezcan en un 38%, alcanzando en el año 2008 un valor de 1,1 TM CO₂ equivalente / TMF en ánodos.

La refinación electrolítica, después del área mina subterránea, es la que muestra una menor participación en el total de emisiones de la minería del cobre (2% en todo el período). Las emisiones de las refinerías electrolíticas del país se incrementan entre 2004 y el 2008 en un 17%, mientras la producción de cátodos electrorefinados (ER) disminuye un 7%, especialmente en el último año.

Los promedios ponderados país de la Carga Unitaria de Emisión (CUE) de las refinerías electrolíticas alcanzan en el año 2008 un valor de 0,30 TM CO₂ equivalente / TMF en cátodos ER.

El área de tratamiento de minerales lixiviables aumenta sus emisiones en el período en un 52%, mientras la producción de cobre proveniente de este tipo de minerales aumenta entre 2004 y 2008 en un 11%

El área de tratamiento de minerales lixiviables consume principalmente energía eléctrica, por lo que las emisiones directas representan un porcentaje menor en el total de emisiones. En el promedio ponderado país las emisiones indirectas se mantienen en el período en valores alrededor del 91%.

Es importante destacar que casi el 90% del cobre producido por lixiviación, extracción por solvente y electrodeposición proviene de faenas asociadas al SING. Por lo anterior, el aporte a las emisiones totales del área de las faenas SING fluctúa en el período en torno a 95%.

En el año 2008 la CUE promedio ponderado país del área de tratamiento de minerales lixiviables alcanza un valor de 2,81 TM CO₂ equivalente / TMF en cátodos electroobtenidos (EO).

Las emisiones totales del área servicios se incrementan en el período de 5 años en un 62%. En el año 2008 la CUE del área servicios alcanza un valor promedio ponderado país de 0,17 TM CO₂ equivalente / TMF total producido.

La evolución de los valores de las cargas unitarias de emisión (CUE), por áreas de producción, para el período 2004 – 2008 se muestra en Anexo III.

4. Demandas Unitarias de Energía y Cargas Unitarias de Emisión por Productos

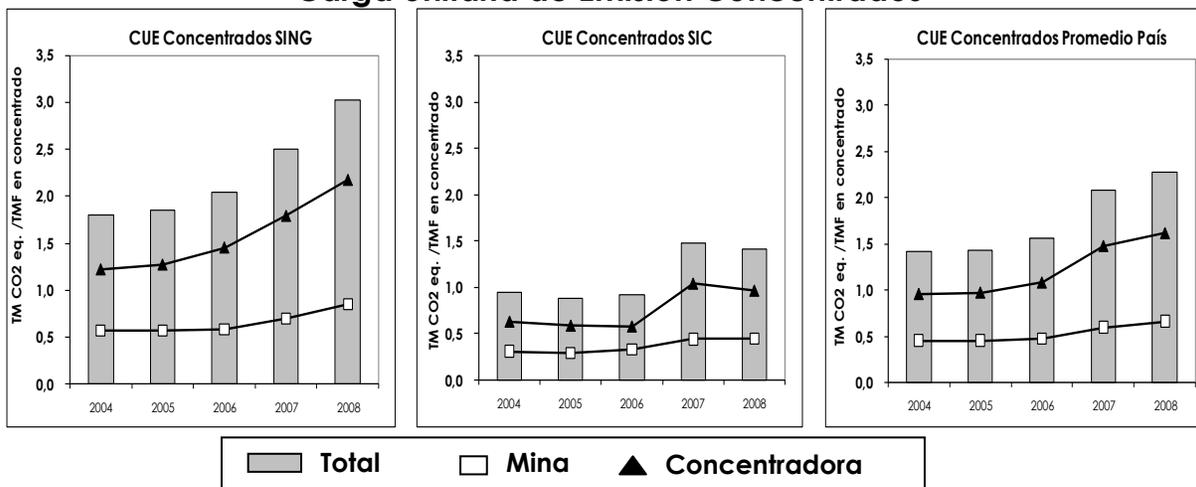
Los valores de Demanda Unitaria de Energía (DUE) y Carga Unitaria de Emisión (CUE) estiman el consumo acumulado de energía y las emisiones de GEI generadas para producir una unidad de producto (1 tonelada de cobre fino contenido). A continuación, se indican para el período en estudio las DUEs y CUEs de los productos comerciales de la minería del cobre en Chile, diferenciando entre los dos sistemas de generación eléctrica (SIC y SING) y los valores resultantes para el promedio ponderado país.

4.1 Concentrados

En el año 2008 la DUE promedio ponderado país de los concentrados alcanza un valor de 16,50 GigaJoule /TMF en concentrados que es un 28% superior al valor del año 2004. En general, las DUEs de los concentrados SING y SIC tienen valores bastante similares.

En relación a la Carga Unitaria de Emisión (CUE) de los concentrados, cuya evolución se muestra en la Figura N°6, los valores más altos se observaron en los concentrados producidos por las operaciones mineras abastecidas por el SING, con un máximo de 3,03 TM de CO₂ equivalente por TMF en el año 2008. Lo anterior se debe a que los coeficientes unitarios de emisión del SING se incrementaron principalmente en los últimos 2 años por cambios en los combustibles utilizados por las centrales generadoras, lo que afecta particularmente las emisiones de las plantas concentradoras, cuyo consumo de energía es prácticamente 100% energía eléctrica (emisiones indirectas).

Figura N° 6
Carga Unitaria de Emisión Concentrados



Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas.

Las CUEs de los concentrados del SING son prácticamente el doble que las de los concentrados del SIC, debido a los coeficientes unitarios de emisión más altos del SING. El aporte de la concentradora a la CUE de los concentrados del SING aumenta de 68% a 72% en el 2008.

Las CUEs de los concentrados producidos con energía eléctrica del SIC se incrementan en un 50%, alcanzando en el año 2008 un valor de 1,41 TM de CO₂ equivalente por TMF. Esto se debe a que el perfil de emisiones unitarias del SIC experimenta un crecimiento de 31% en el período, por una reducción en la generación hidroeléctrica y un cambio de los combustibles utilizados en la generación. La contribución de la planta concentradora se mantiene en torno a 67%.

Las CUEs promedio ponderado del total de los concentrados producidos en el país muestran un incremento de 61% entre el año 2004 y el 2008, alcanzando este último año un valor de 2,28 TM de CO₂ equivalente por TMF en concentrados.

4.2 Ánodos

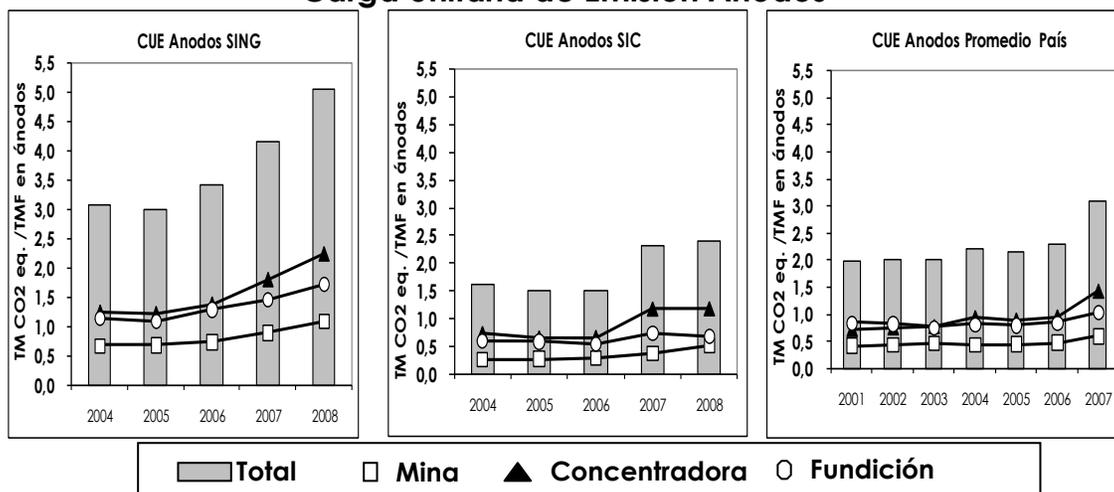
Los cálculos se realizaron utilizando la información entregada por las empresas respecto de la mezcla de concentrados alimentados a sus respectivas fundiciones en cada año considerado en el estudio. Es importante destacar que, a partir de la producción de ánodos ya no se puede hablar de "ánodos SING o SIC puros", ya que las fundiciones procesan concentrados de distintas partes del país y por lo tanto, la CUE de éstos puede estar asociada a la generación eléctrica del SING o del SIC.

En el período, la tonelada de cobre fino en ánodos, tanto en los producidos en el SING, como aquellos producidos en el SIC, tiene una demanda unitaria de energía que fluctúa entre 22 y 30 GJ / TMF en ánodos. Las DUEs de los ánodos SING aumentan en el período en un 31%, con un valor en el año 2008 de 29,8 GJ, mientras que las de los ánodos SIC se incrementan en un 14%, alcanzando el 2008 un valor de 25,5 GJ.

En el año 2008, la DUE de los ánodos promedio ponderado país tiene una contribución de 29% de la etapa mina, 38% de la concentradora y 33% de la fundición.

En relación con la CUE, cuya evolución se muestra en la Figura N°7, nuevamente los valores de los ánodos que reciben abastecimiento eléctrico del SING son alrededor del doble que aquellos del SIC.

Figura N° 7
Carga Unitaria de Emisión Ánodos



Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de la empresa

La CUE de los ánodos del SING sube un 64% en el período, llegando a un valor de 5,06 TM de CO₂ equivalente por TMF en ánodos en el año 2008. Por su parte, la CUE de los ánodos SIC aumenta entre 2004 y 2008 en un 49%, en especial en los últimos 2 años, para alcanzar el año 2008 un valor de 2,39 TM de CO₂ equivalente por TMF en ánodos.

La CUE promedio ponderado de los ánodos producidos en el país aumenta en un 56%, fundamentalmente por el aumento de las emisiones en el área mina y concentradora, alcanzando en el año 2008 un valor de 3,44 TM de CO₂ equivalente por TMF en ánodos.

4.3 Cátodos ER

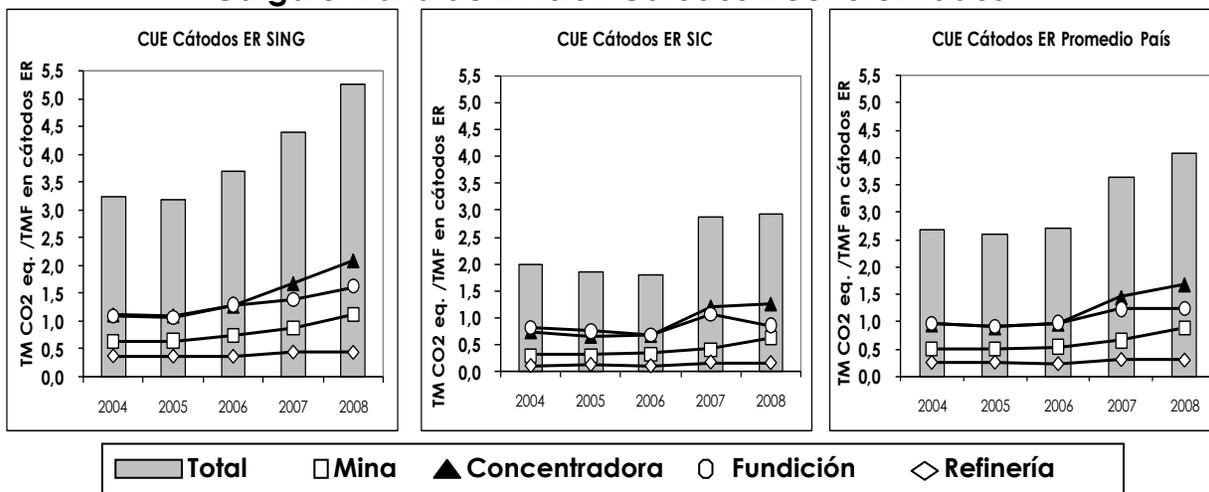
La DUE de los cátodos ER fluctúa entre 26,2 y 33,1 Gigajoule/TMF, tanto en el SING como en el SIC. Las DUEs promedio ponderado de los cátodos ER producidos en Chile muestran una tendencia creciente en el período (15%), llegando en el año 2008 a 30,9 GigaJoule / TMF en cátodos ER.

Las contribuciones a la DUE de la concentradora y la refinería, con algunas fluctuaciones, se mantienen bastante estables en el período, con valores de alrededor de 32% y 8% respectivamente. El área mina aumenta su participación de 22% a 30%, mientras la fundición reduce su contribución de 38% a 31%.

Las cargas de emisión que genera la producción de 1 tonelada de cobre fino en cátodos ER (CUEs) se muestran a continuación en la Figura N° 8. Al igual que en el caso de los ánodos, no hay un "cátodo ER puro" asociado

al SING o al SIC, porque las refinерías se alimentan de una mezcla de ánodos que provienen de las distintas fundiciones del país. A esto se agrega el efecto, tal como se indicó anteriormente, de que los ánodos se produjeron también con una mezcla de concentrados cuyo origen está asociado a las dos matrices energéticas identificadas.

Figura N° 8
Carga Unitaria de Emisión Cátodos Electrorefinados



Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas.

La CUE de los cátodos ER del SING aumenta en el período un 63%, llegando en el año 2008 a un valor de 5,3 TM de CO₂ equivalente por TMF en cátodos ER. El incremento del valor de la CUE, principalmente en los últimos 2 años, se debe fundamentalmente al aumento de las emisiones unitarias del SING por cambio en los combustibles utilizados por las centrales generadoras producto del déficit de gas (gas natural a carbón y diesel).

La CUE de los cátodos ER del SIC crece en un 47%, impulsada por mayores consumos unitarios en el área mina. En el año 2008 se tiene un valor de 2,9 TM de CO₂ equivalente por TMF en cátodos ER.

Durante todos los años del estudio las CUEs de los cátodos ER producidos en el SING son entre 1,5 y 2 veces las CUEs de los cátodos ER del SIC.

Los valores de las CUEs para el promedio ponderado de los cátodos ER producidos en el país muestran, con pequeñas fluctuaciones, una tendencia relativamente estable en los primeros 3 años del período, para luego aumentar fuertemente en últimos 2 años (50%), alcanzando un valor de 4,1 TM de CO₂ equivalente por TMF en cátodos ER en el año 2008.

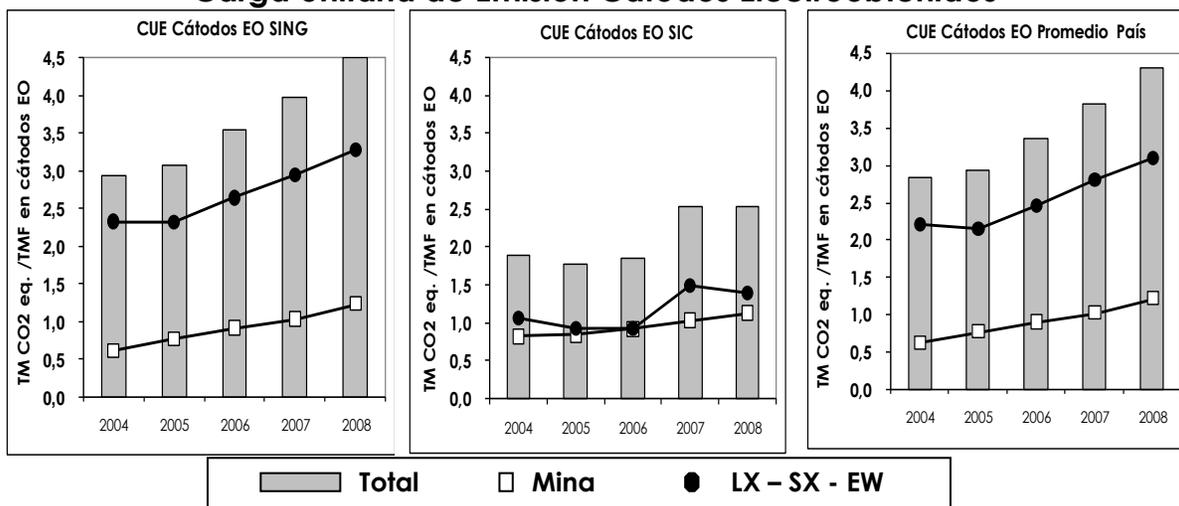
4.4 Cátodos EO

Los cátodos electroobtenidos (EO), que se obtienen mediante el tratamiento de minerales lixiviables, incrementaron su producción entre 2004 y el año 2008 en un 21%, debido a que la mayoría de las operaciones de este tipo se encuentran operando a régimen y sólo han entrado en operación en el período dos nuevas faenas. La mayor parte de la producción de cátodos EO (90%) se abastece de energía eléctrica del SING.

Las DUE de los cátodos EO son bastante similares en ambos sistemas de generación, fluctuando en el período de 5 años entre 21,2 y 30,3 Gigajoule/TMF.

La DUE promedio ponderado del total de los cátodos producidos en el país se incrementa en el período de 5 años un 31%, llegando en el último año del estudio a un valor de 28,4 Gigajoule / TMF en cátodos EO. En el promedio ponderado país la mina aumenta su contribución de 34% a 45%, mientras que el conjunto de las operaciones de tratamiento de minerales lixiviables (LX-SX-EW) la disminuye de 66% a 55%.

Figura N° 9
Carga Unitaria de Emisión Cátodos Electroobtenidos



Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas.

En la Figura N° 9 se puede observar que los valores de la CUE para los cátodos EO producidos en faenas que se abastecen del SING aumentan entre 2004 y 2008 en un 54%, alcanzando en el año 2008 un valor de 4,5 TM CO₂ equivalente/TMF en cátodos EO. Debido a la importancia de la contribución de las operaciones LX-SX-EW a la CUE de los cátodos EO

(entre 73% y 79%), operaciones que mayoritariamente consumen energía eléctrica y por lo tanto generan emisiones indirectas, el perfil de la CUE sigue un perfil similar a aquel del sistema de generación eléctrica (SING).

Los cátodos EO asociados al SIC muestran CUEs crecientes en el período (34%), influidas principalmente por un aumento en las emisiones unitarias de la mina, llegando en el año 2008 a un valor de 2,5 TM CO₂ equivalente/TMF en cátodos EO.

Las CUEs de los cátodos EO del SING son entre 1,6 y 1,9 veces superiores a aquellas del SIC.

Por la importancia de la producción de cátodos EO que se abastecen de energía eléctrica del SING, el promedio ponderado país de estos cátodos sigue el perfil de emisiones de los cátodos SING, aumentando las CUEs en el período para alcanzar en el año 2008 un valor de 4,3 TM CO₂ equivalente/TMF en cátodos EO.

4.5 Cátodos ER versus Cátodos EO

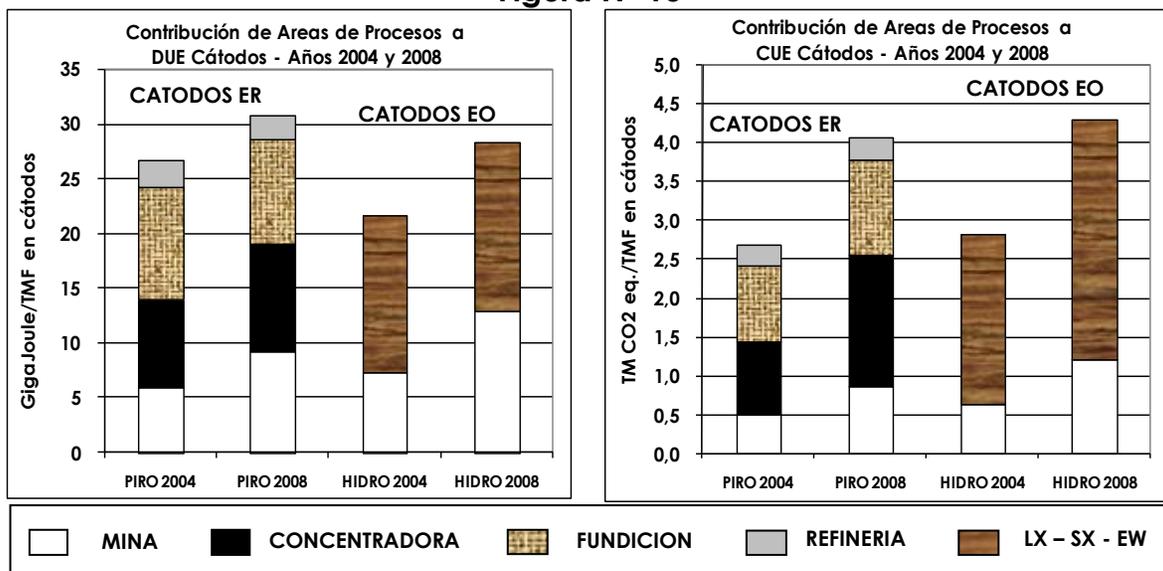
A nivel internacional, por lo general, se presenta a la vía hidrometalúrgica como una opción más “limpia” para producir cobre, en comparación con la vía pirometalúrgica que incluye la etapa de fundición, con la consiguiente emisión de gases y los costos asociados a su captación y tratamiento.

Los gráficos siguientes muestran, para el caso de la minería del cobre de Chile, en forma comparativa las vías piro e hidrometalúrgica, tanto en cuanto a consumo de energía como a emisiones de GEI.

En lo que se refiere a uso de energía, los valores de DUE para los cátodos EO (vía hidro) son más bajos en comparación con los de los cátodos ER (vía piro). Esto significa que la producción de 1 tonelada de cátodos ER gastó en el año 2004 un 19% más de energía que la producción de 1 tonelada de cátodos EO. En el año 2008 el mayor gasto se redujo a 8%. Por otra parte, los consumos unitarios de energía de la vía piro (cátodos ER) muestran en el período una tendencia creciente menor (15%) que aquellos de la vía hidro (cátodos EO) (31%). Lo anterior es un reflejo de las caídas en las leyes de los minerales tratados (19%) y en las recuperaciones del proceso (46%), por un aumento de mineral procesado en botaderos (dump) en los últimos de años, lo que implica que para producir 1 tonelada de cobre fino hoy se requiere extraer y procesar una mayor cantidad de mineral que en el año 2004, con el consiguiente mayor gasto de energía.

El ciclo alto de precios del cobre de los últimos años ha rentabilizado el procesamiento de los minerales de baja ley que se encontraban acopiados. Por lo anterior, varias empresas mineras han comenzado en los últimos años a procesar este tipo de minerales en botaderos, donde las recuperaciones son muy bajas.

Figura N° 10



Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas.

En materia de emisiones de GEI se produce la situación inversa, los valores de CUE para los cátodos EO (vía hidro) son más altos que aquellos de los cátodos ER (vía piro). Lo anterior significa que en el año 2004 la producción de 1 tonelada de cátodos EO generó un 5% más de emisiones que la producción de 1 tonelada de cátodos ER, porcentaje que se mantiene en el año 2008. Por otra parte, ambas vías de producción de cobre muestran entre los años 2004 y 2008 una tendencia creciente en cuanto a emisiones de GEI, incrementando las emisiones unitarias en un 52%.

Los resultados anteriores se explican principalmente porque la producción hidrometalúrgica hace un uso más intensivo de energía eléctrica, particularmente en las etapas de lixiviación-extracción por solventes y electrodeposición, donde es necesario mover materiales y bombear gran cantidad de soluciones. Por otra parte, tal como se indicó anteriormente, casi el 90% de la producción de cátodos EO (vía hidro) proviene de faenas mineras que reciben abastecimiento eléctrico del SING, sistema de generación que experimentó en los últimos años, debido al déficit de abastecimiento de gas natural, un aumento de sus coeficientes unitarios de emisión.

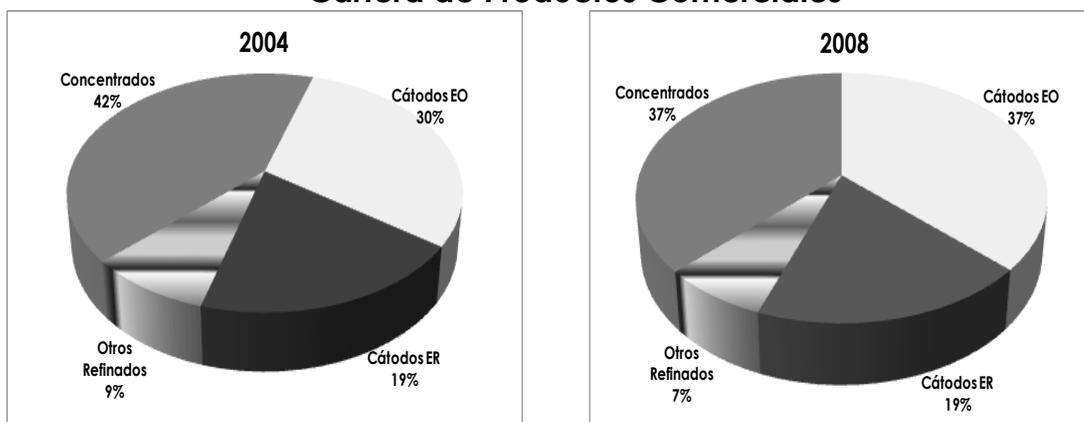
COMENTARIOS FINALES

Energía

Es interesante destacar el incremento que se observa en cuanto a consumo unitario de energía a nivel país por parte de la minería del cobre (39 faenas incluidas en el estudio), el que aumenta entre 2004 y 2008 en un 23%, llegando a un valor de 22,9 GigaJoule / TMF producido. Los resultados anteriores, que se explican por una multiplicidad de factores, tales como disminuciones en la ley de los minerales, aumento de las distancias de acarreo, cambios en la cartera de productos comerciales y cambios tecnológicos, están indicando que el sector minería del cobre, en los últimos 4 años, ha experimentado un aumento en la intensidad de uso de energía.

En el período considerado en el estudio (2004-2008), en la mina los consumos de energía como combustibles se incrementan en un 52% y los consumos de energía eléctrica suben en 33%, lo que hace que esta área aumente su participación en el consumo total de energía del sector de un 31% el 2004 a un 38% en el año 2008. La concentradora baja ligeramente su participación en el consumo total de energía sectorial a un 24%. La fundición baja a 10% y el tratamiento de minerales lixiviables mantiene su participación en un 22%.

Figura N° 11
Cartera de Productos Comerciales



Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre.

En relación con el uso de energía, en los años considerados en el estudio (2004 - 2008), la producción de una tonelada de cobre fino, a nivel país, en la forma de cátodo electrorrefinado (ER), tuvo una demanda unitaria de energía variable entre 26,7 GJ y 30,9 GJ, dependiendo del año. Para el caso de los cátodos electroobtenidos (EO) esta demanda unitaria varió entre 21,7 GJ y 28,4 GJ.

El concentrado de cobre también es un producto comercial relevante para el país, ya que en el año 2008 un 37% del cobre fino exportado (1,987 millones de TM) salió como concentrados. La producción de concentrados de cobre de Chile se distribuye aproximadamente en un 52% asociada a la matriz energética del SING y un 48% al SIC. Los consumos de energía para producir una tonelada de cobre fino en la forma de concentrado son relativamente similares en ambas matrices energéticas, 16,7 Gigajoule/TMF en concentrados para el SING y 16,2 para el SIC en el año 2008.

En el ámbito del consumo de energía como combustibles, la explotación minera, que en el año 2004 consumía el 63 % de los combustibles utilizados por la minería, fue incrementando su participación hasta alcanzar el 71% en el año 2008. Lo anterior se debe fundamentalmente a que las nuevas minas que han entrado en operación en el período son de rajo abierto, y a que, a medida que avanza la explotación de este tipo de minas, las distancias y pendientes de acarreo, tanto de los minerales como de los materiales estériles van aumentando, con el consiguiente aumento de consumo de combustibles.

Al analizar el consumo de energía eléctrica de la minería del cobre, destaca el hecho que la concentración de minerales sulfurados consume prácticamente la mitad del total de la energía eléctrica consumida por el sector, y ha disminuido su participación de 46% en el año 2004 a 43% el 2008.

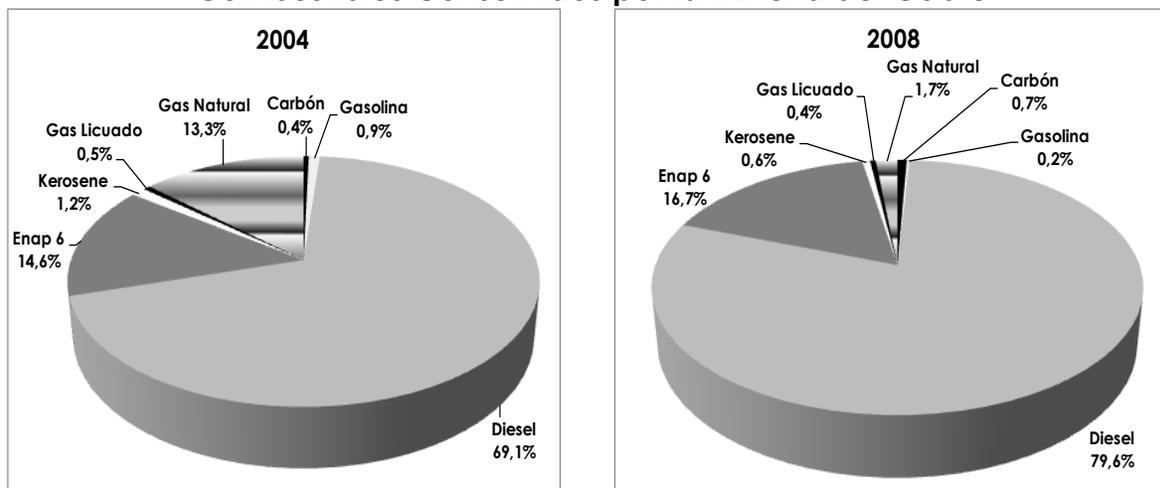
Otro hecho relevante es el aumento de participación en el consumo de energía eléctrica del área de tratamiento de minerales lixiviables, de un 29% en el 2004 a un 33% en el 2008. Esto se debe al incremento de la producción de cobre a partir de este tipo de minerales, y a que las distintas etapas del procesamiento son fundamentalmente consumidoras de energía eléctrica.

Los patrones de consumo de energía de la minería del cobre cambiaron fuertemente entre 1995 y el año 2005, en el sentido de un aumento en la importancia relativa del consumo de energía eléctrica. Este último año la energía eléctrica daba cuenta de un 58% del consumo total de energía. Sin embargo, a partir del 2006 esta tendencia se revierte y en el año 2008 del consumo total de energía un 53% corresponde a energía eléctrica y un 47% a una variada gama de combustibles.

Los principales combustibles consumidos directamente por la minería del cobre en el año 2008 son: petróleo Diesel (79,6%), Enap 6 (16,7%) y Gas Natural (1,7%), siendo marginal la participación de los otros combustibles (carbón, kerosene, gas licuado y gasolinas). El hecho más destacable es

que, producto de la reducción en el abastecimiento de gas natural, éste baja su participación en el consumo directo del sector minero de un 13,3% a un 1,7% entre los años 2004 y 2008, mientras que el petróleo diesel la sube de un 69,1% a un 79,6%. El principal consumo de gas natural corresponde a las fundiciones de concentrados de cobre.

Figura N° 12
Combustibles Consumidos por la Minería del Cobre



Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas

Además, en el año 2004 un 7,3% de los combustibles consumidos, principalmente fuel oil, se destinó a autogeneración eléctrica, cifra que baja a 5,8% en el 2008. El 38% del consumo total de fuel oil de la minería del cobre se utilizó en autogeneración, mientras que en el año 2008 se usó sólo el 30%.

De lo anterior, se puede concluir que los recortes en el abastecimiento de gas natural, que han afectado al país desde el año 2004, no han tenido un impacto directo respecto de la actividad minera del cobre, pero sí sobre los costos de la energía eléctrica consumida, principalmente porque la utilización de combustibles alternativos, más caros, por parte de las empresas generadoras han hecho subir los precios de este insumo estratégico para la minería.

Más aún, además del alza en los costos unitarios de energía, la minería del cobre ha incrementado en los últimos años sus consumos de combustibles y electricidad, tanto en valores absolutos como en términos unitarios, por tonelada de cobre fino producido.

La participación promedio de la minería del cobre en el consumo total final de energía del país en el período 2001-2007²⁴ fue de un 10,9%, mientras que la participación promedio del sector en el PIB, a precios corrientes de cada año, fue de 12,1%²⁵ en el mismo período. Por tipo de energía, las empresas del sector consumieron en el año 2007 un 32% del total de la energía eléctrica consumida por el país y sólo un 6% del total de combustibles.

Emisiones

Las emisiones unitarias totales de GEI también experimentan un aumento de 52%, en particular en los últimos 3 años, alcanzando en el 2008 un valor de 3,14 TM CO₂ equivalente/TMF producido. Esto es producto, en parte, de un mayor consumo unitario de energía, y, además, de una menor generación hidráulica en el SIC, unida al déficit de gas natural, que ha significado el reemplazo de éste por otros combustibles (carbón y diesel), con coeficientes unitarios de emisión más elevados, en las plantas de generación de energía eléctrica

El aumento de las emisiones unitarias totales se ha visto impulsado, principalmente, por el aumento de las emisiones indirectas que crecen en el período en un 52%, debido al incremento de los coeficientes unitarios de emisión de ambos sistemas de generación.

En términos de emisiones de GEI, la conclusión más evidente es la cada vez mayor relevancia que tiene el perfil de emisiones del sistema interconectado de generación de electricidad sobre el perfil de emisiones de las distintas áreas y, en último término, del producto unitario. Esto se aprecia claramente tanto en la magnitud relativa de las emisiones, como en la evolución del perfil unitario de productos en el tiempo, que sigue casi exactamente el perfil del factor de emisión del respectivo sistema interconectado.

A partir de esta observación se puede sugerir una conclusión preliminar interesante: los esfuerzos de reducción de uso de energía que hagan las faenas de la minería del cobre en Chile, o de reducción en el uso de tecnologías que requieran uso directo de combustibles, tendrán un efecto acotado en el perfil de emisiones GEI de los productos, ya que como ha quedado demostrado con el déficit de abastecimiento de gas natural, las configuraciones de los sistemas SIC y SING son las que tienen un mayor impacto en las emisiones.

²⁴ No es posible entregar cifras para el año 2008, debido a que la Comisión Nacional de Energía publica el Balance de Energía recién en el mes de agosto.

²⁵ Cálculo de la Dirección de Estudios de COCHILCO con información del Banco Central de Chile.

En términos de emisiones de GEI, la producción de una tonelada de cobre fino en la forma de cátodo ER, dependiendo del año, tuvo una carga de emisión (CUE) (a nivel internacional este concepto se denomina "Global Warming Potencial" (GWP)) variable entre 2,6 y 4,1 toneladas de CO₂ equivalente. Por su parte, la carga unitaria de emisión (CUE) del cátodo electroobtenido varió entre 2,8 y 4,3 toneladas de CO₂ equivalente.

Las CUEs de los concentrados difieren sustancialmente dependiendo del sistema de generación que abastece la faena, siendo las de los concentrados SING entre 1,7 y 2,2 veces superiores a las de los concentrados SIC. Esto se explica por la importancia de la contribución de la planta concentradora en el costo total de energía del concentrado, planta que consume fundamentalmente energía eléctrica y por lo tanto, el aporte de emisiones (indirectas) a la CUE del concentrado está fuertemente influenciado por los perfiles de emisión de los sistemas de generación eléctrica.

En el año 2008 se produjeron 0,99 millones de TMF de cátodos electrorefinados (ER) y 1,97 millones de TMF de cátodos electroobtenidos (EO). Otro de los principales resultados del estudio llevado a cabo por COCHILCO es que, en ese año, si bien la producción de un cátodo ER demandó un 8% más de energía que la producción de uno EO (30,9 versus 28,4 Gigajoule, respectivamente), emitió un 5% menos de GEI (4,1 versus 4,3 toneladas de CO₂ equivalente, respectivamente).

Es decir, la comparación de cátodos ER y EO, en el caso particular de Chile, demuestra que, aún siendo los cátodos ER más consumidores de energía, los cátodos EO emiten, en términos unitarios, una mayor cantidad de GEI. Esto, debido a que el abastecimiento de la energía necesaria para la producción de estos últimos proviene fundamentalmente del SING que, como ya se ha señalado, posee un mayor factor de emisión de GEI.

Teniendo en consideración la relevancia que ha adquirido en los últimos tiempos la problemática del Calentamiento Global, no obstante que Chile no tiene hasta la fecha compromisos de reducción de emisiones, y teniendo en cuenta que los dos sistemas de generación que abastecen a la minería del cobre han aumentado sus coeficientes unitarios de emisión, tanto por una reducción en la generación hidráulica, como por el cambio hacia combustibles que generan mayores emisiones de GEI que el gas natural, se estima de importancia que a nivel país, al diseñar las políticas energéticas futuras se tengan en consideración las emisiones de gases de efecto invernadero.

No obstante lo anterior, también es claro el desafío directo que la temática del calentamiento global, asociada a la emisión de GEI, presenta a la minería, sector clave de la economía chilena. El sector minero, que ha sido proactivo, y a veces pionero, en materia de gestión ambiental en Chile, enfrenta la posibilidad de avanzar gradualmente, anticipándose y contribuyendo al buen diseño de eventuales regulaciones en materia de emisiones de GEI. Los resultados de este estudio facilitan a las empresas mineras el proceso de identificar las áreas de producción donde hay mayores oportunidades para implementar proyectos de eficiencia energética y reducción de emisiones de GEI, incluyendo oportunidades de desarrollo de negocios a través del Mecanismo de Desarrollo Limpio con transacción de bonos de carbono.

Finalmente, los resultados del estudio dejan en evidencia que los problemas de abastecimiento de gas natural han impactado fuertemente las emisiones de GEI de la minería del cobre del país, incrementando sus emisiones totales entre los años 2004 y 2008 en un 48%. Sólo entre el año 2006 y el 2008 las emisiones totales se incrementaron en 34%. Las emisiones indirectas (consumo de energía eléctrica) representan el 2008 un 76% de las emisiones totales del sector, por lo que es imperativo que, al adoptar decisiones en materia de política energética nacional, se tenga en consideración la temática del Cambio Climático.

ANEXO I

FAENAS MINERAS INCLUIDAS EN EL ESTUDIO

- CODELCO Chile
 - División Codelco Norte (Chuquicamata y Radomiro Tomic)
 - División Salvador
 - División Andina
 - División Ventanas
 - División El Teniente
- Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi
- Compañía Minera Cerro Colorado
- Compañía Minera Quebrada Blanca
- Sociedad Contractual Minera El Abra
- Minera Spence S.A.
- Minera Escondida Ltda.
- Compañía Minera Zaldivar
- Minera Michilla
- Compañía Minera Lomas Bayas
- Minera El Tesoro
- Compañía Contractual Minera Candelaria
- Compañía Contractual Minera Ojos del Salado
- Sociedad Punta del Cobre
- Compañía Minera Los Pelambres
- Compañía Minera Carmen de Andacollo
- Anglo American Chile Ltda.
 - Mantos Blancos
 - Manto Verde
 - El Soldado
 - Los Bronces
 - Fundición Chagres
- Fundición Altonorte
- Empresa Nacional de Minería
- Fundición Hernán Videla Lira
 - Planta Taltal
 - Planta Salado
 - Planta Matta
 - Planta Vallenar
 - Planta Ovalle
 - Minera Las Cenizas S.A. (Planta Taltal y Planta Cabildo)
- Sociedad Contractual Minera Atacama Kozan
- Minera Cerro Dominador S.A.
 - Planta Santa Margarita
- Minera Valle Central

ANEXO II
COEFICIENTES UNITARIOS DE CONSUMO DE ENERGIA

Tabla N° 1
Coefficientes Unitarios de Consumo de Combustibles por Áreas
(por tonelada de fino en el producto de cada etapa)

	2004	2005	2006	2007	2008
Mina Rajo (MJ / TMF en mineral)	4.442,4	4.196,4	4.465,0	5.119,6	5.634,4
Mina Subterránea (MJ / TMF en mineral)	1.000,6	1.333,1	1.563,9	1.808,5	1.297,6
Mina (1) (MJ / TMF en mineral)	3.932,9	3.799,9	4.084,6	4.702,9	5.186,4
Concentradora (MJ / TMF en concentrado)	176,2	215,8	185,4	188,6	233,4
Fundición (MJ / TMF en ánodos)	4.699,8	4.965,3	4.827,9	4.964,9	5.170,3
Refinería (MJ / TMF en cátodos ER)	1.475,2	1.751,7	1.603,7	1.504,0	1.195,1
LX / SX / EW (MJ / TMF en cátodos SX-EW)	2.669,1	2.905,5	2.893,8	3.094,6	3.080,1
Servicios (MJ / TMF total producido)	318,6	278,3	280,0	266,1	256,7

(2) Promedio ponderado de los Coeficientes Unitarios de Mina Rajo y Subterránea.

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas.

Tabla N° 2
Coefficientes Unitarios de Consumo de Combustibles por Áreas
(por tonelada de mineral extraído o tratado)

	2004	2005	2006	2007	2008
Mina Rajo (MJ / TM mineral extraído)	43,2	38,1	41,7	47,5	46,6
Mina Subterránea (MJ / TM mineral extraído)	10,6	13,9	15,8	18,2	12,8
Mina (1) (MJ / TM mineral extraído)	38,8	35,1	38,6	44,1	43,6
Concentradora (MJ / TM mineral procesado)	1,7	1,9	1,6	1,5	2,0
Fundición (MJ / TM concentrado procesado)	1.533,9	1.603,8	1.549,5	1.563,8	1.607,8
LX / SX / EW (MJ / TM mineral tratado)	16,2	14,9	14,8	14,7	12,2

(1) Promedio ponderado de los Coeficientes Unitarios de Mina Rajo y Subterránea.

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas.

Tabla N° 3
Coefficientes Unitarios de Consumo de Energía Eléctrica por Áreas
 (por tonelada de fino en el producto de cada etapa)

	2004	2005	2006	2007	2008
Mina Rajo (MJ / TMF en mineral)	585,6	639,7	614,3	619,9	654,8
Mina Subterránea (MJ / TMF en mineral)	1.257,9	1.558,5	1.693,5	1.692,3	2.099,4
Mina (1) (MJ / TMF en mineral)	689,1	770,0	758,5	757,3	808,2
Concentradora (MJ / TMF en concentrado)	6.942,7	7.240,9	7.424,6	7.862,7	8.208,5
Fundición (MJ / TMF en ánodos)	3.836,2	3.771,7	3.778,7	3.887,1	3.692,1
Refinería (MJ / TMF en cátodos ER)	1.276,8	1.269,9	1.233,4	1.221,2	1.285,1
LX / SX / EW (MJ / TMF en cátodos SX-EW)	10.429,0	10.082,3	10.128,7	10.479,6	10.702,3
Servicios (MJ / TMF total producido)	515,9	576,1	502,5	443,2	558,0

(1) Promedio ponderado de los Coeficientes Unitarios de Mina Rajo y Subterránea.

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas

Tabla N° 4
Coefficientes Unitarios de Consumo de Energía Eléctrica por Áreas
 (por tonelada de mineral extraído o tratado)

	2004	2005	2006	2007	2008
Mina Rajo (MJ / TMF en mineral)	5,8	5,9	5,8	5,8	5,4
Mina Subterránea (MJ / TMF en mineral)	13,3	16,2	17,1	17,1	20,7
Mina (1) (MJ / TMF en mineral)	6,9	7,2	7,2	7,2	6,8
Concentradora (MJ / TMF en concentrado)	70,0	69,9	72,0	73,6	76,8
Fundición (MJ / TMF en ánodos)	1.219,0	1.282,4	1.178,9	1.207,2	1.229,4
LX / SX / EW (MJ / TMF en cátodos SX-EW)	61,2	51,7	51,7	49,6	42,5

(1) Promedio ponderado de los Coeficientes Unitarios de Mina Rajo y Subterránea.

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas

ANEXO III
Tabla N° 1
Cargas Unitarias de Emisión por Áreas (CUE)

	Unidades	2004	2005	2006	2007	2008
Mina Rajo SING	TM CO ₂ eq. /TMF mineral	0,40	0,42	0,44	0,50	0,54
Mina Rajo SIC	TM CO ₂ eq. /TMF mineral	0,34	0,42	0,47	0,54	0,57
Mina Rajo PP	TM CO ₂ eq. /TMF mineral	0,38	0,42	0,44	0,51	0,55
Mina Subterránea SING	TM CO ₂ eq. /TMF mineral	0,52	-	-	1,13	-
Mina Subterránea SIC	TM CO ₂ eq. /TMF mineral	0,15	0,17	0,18	0,26	0,28
Mina Subterránea PP	TM CO ₂ eq. /TMF mineral	0,17	0,17	0,18	0,28	0,28
Concentradora SING	TM CO ₂ eq. /TMF concentrado	1,17	1,19	1,38	1,65	1,93
Concentradora SIC	TM CO ₂ eq. /TMF concentrado	0,61	0,57	0,56	1,06	0,99
Concentradora PP	TM CO ₂ eq. /TMF concentrado	0,92	0,92	1,04	1,40	1,50
Fundición SING	TM CO ₂ eq. /TMF ánodo	1,09	1,06	1,27	1,44	1,73
Fundición SIC	TM CO ₂ eq. /TMF ánodo	0,59	0,55	0,51	0,72	0,69
Fundición PP	TM CO ₂ eq. /TMF ánodo	0,84	0,81	0,86	1,08	1,10
Refinería SING	TM CO ₂ eq. /TMF cátodo ER	0,34	0,35	0,36	0,39	0,44
Refinería SIC	TM CO ₂ eq. /TMF cátodo ER	0,10	0,13	0,10	0,17	0,16
Refinería PP	TM CO ₂ eq. /TMF cátodo ER	0,24	0,25	0,22	0,30	0,30
LX-SX-EW SING	TM CO ₂ eq. /TMF cátodo EO	2,18	2,06	2,37	2,81	2,98
LX-SX-EW SIC	TM CO ₂ eq. /TMF cátodo EO	0,97	0,86	0,87	1,38	1,33
LX-SX-EW PP	TM CO ₂ eq. /TMF cátodo EO	2,06	1,92	2,21	2,67	2,81
Servicios SING	TM CO ₂ eq. /TMF total producido	0,13	0,13	0,14	0,13	0,24
Servicios SIC	TM CO ₂ eq. /TMF total producido	0,06	0,04	0,04	0,07	0,06
Servicios PP	TM CO ₂ eq. /TMF total producido	0,10	0,10	0,10	0,11	0,17

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas.

Tabla N° 2
Valores de DUEs para Productos Comerciales de Cobre
Año 2008

	Unidades	SING	SIC	Promedio Ponderado País
DUE Concentrados	GJ/TMF en concentrados	16,7	16,2	16,5
DUE Ánodos	GJ/TMF en ánodos	29,8	25,5	27,2
DUE Cátodos ER	GJ/TMF en cátodos ER	33,1	28,7	30,9
DUE Cátodos EO	GJ/TMF en cátodos EO	28,1	30,3	28,4

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

Tabla N° 3
Valores de CUEs para Productos Comerciales de Cobre
Año 2008

	Unidades	SING	SIC	Promedio Ponderado País
CUE Concentrados	TM CO ₂ eq./TMF en concentrados	3,03	1,41	2,28
CUE Ánodos	TM CO ₂ eq./TMF en ánodos	5,06	2,39	3,44
CUE Cátodos ER	TM CO ₂ eq./TMF en cátodos ER	5,27	2,92	4,09
CUE Cátodos EO	TM CO ₂ eq./TMF en cátodos EO	4,50	2,54	4,31

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

Este trabajo fue elaborado por:

Sara Inés Pimentel Hunt

JUNIO 2009