

**Comisión Chilena del Cobre**  
**Dirección de Estudios y Políticas Públicas**

**CONSUMO DE ENERGÍA Y  
EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO ASOCIADAS  
DE LA MINERÍA DEL COBRE DE CHILE. Año 2009  
DE/10/2010**

Registro de Propiedad Intelectual  
© N° 194876

## INDICE

<b>GLOSARIO</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>13</b>
<b>METODOLOGIA</b>	<b>14</b>
<b>PRINCIPALES RESULTADOS</b>	<b>14</b>
<b>1. Consumos Unitarios y Totales de Energía</b>	<b>14</b>
<b>2. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)</b>	<b>16</b>
2.1 Emisiones de GEI de los sistemas de generación eléctrica	16
2.2 Emisiones de GEI asociadas a la producción de cobre	16
<b>3. Consumos de Energía y Emisiones por Área de Producción</b>	<b>21</b>
3.1 Consumo de energía	21
3.2 Emisiones de GEI	22
<b>4. Demanda Unitaria de Energía y Cargas Unitarias de Emisión por Productos</b>	<b>26</b>
4.1 Concentrados	26
4.2 Ánodos	27
4.3 Cátodos ER	29
4.4 Cátodos EO	30
4.5 Cátodos ER versus Cátodos EO	32
<b>ESTUDIO PROSPECTIVO 2009 VERSUS RESULTADOS REALES</b>	<b>33</b>
<b>COMENTARIOS FINALES</b>	<b>34</b>
Energía	34
Emisiones	37
<b>Anexo I: Faenas Mineras incluidas en el Estudio</b>	<b>40</b>
<b>Anexo II: Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía</b>	<b>41</b>
<b>Anexo III: Cargas Unitarias de Emisión</b>	<b>45</b>

## 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 electro obtenido (hidrometalurgia)

**ER:** Cátodo electro refinado (pirometalurgia)

**EW:** Electro obtención

**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 2009 de versiones anteriores de dos estudios realizados por la Comisión Chilena del Cobre, sobre consumos de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas en la minería del cobre de Chile, los que pueden ser consultados en nuestra página web.

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 minero, producto de envejecimiento de minas, cambios tecnológicos, cambios en la cartera de productos comerciales, entre otros factores. Esto ha sido posible gracias a la amplia colaboración de las empresas que entregaron sus antecedentes para la elaboración de este trabajo<sup>1</sup>.

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 2009, 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.

---

<sup>1</sup> ANEXO N° 1: Faenas Mineras incluidas en el Estudio.

En el ámbito de las emisiones de gases de efecto invernadero, se aborda el tema de las emisiones directas<sup>2</sup> e indirectas<sup>3</sup> 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 electro-refinados, cátodos electro-obtenidos y ánodos) y áreas de procesos (mina, concentradora, fundición, refinería, lixiviación-extracción por solventes-electro-obtención, 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 2009, a pesar que la producción de cobre creció sólo 1,2%, el consumo total de energía del sector minería del cobre se incrementó en 9%. Lo anterior significó que los coeficientes unitarios<sup>4</sup> de consumo de energía total aumentaran en el último año en un 7,9%, resultando un valor promedio de 24.625 MJ/TMF.

Si para el análisis se toma como año base el 2001, se tiene que los coeficientes unitarios de consumo de energía total de la minería del cobre de Chile se incrementaron en el período de 9 años en un 35,3%, lo que representa una tasa anual de crecimiento de 3,9%.

Los resultados indican que, mientras la producción total de cobre aumentó en 13,7% en el período de 9 años, el consumo total estimado de energía se incrementó en 54%, (de 86.234 Terajoule en el 2001 a 132.720 Terajoule en el año 2009). La energía consumida como combustibles se incrementó entre 2001 y 2009 en un 65%, mientras que el consumo de energía eléctrica lo hizo en 44,5%. Los coeficientes unitarios globales de consumo de combustibles muestran, a contar del año 2007, una fuerte tendencia creciente, aumentando en promedio en el período completo de 9 años un 45,3%, lo que significa una tasa media anual de 4,8%. Por su parte, los

---

<sup>2</sup>Emisiones "in situ" resultantes de la combustión de combustibles fósiles.

<sup>3</sup>Emisiones 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

<sup>4</sup> Consumo Unitario: energía consumida para producir una unidad de producto (1 tonelada de cobre fino contenido).

coeficientes unitarios de la energía eléctrica experimentan un aumento de 27,1% en los 9 años, resultando una tasa media anual de 3%.

Es importante destacar que, entre los años 1995 y 2004 los coeficientes unitarios globales de consumo de combustibles mostraron una tendencia decreciente; sin embargo, a contar del 2005 comienzan a incrementarse, dando como resultado un aumento de 5% para el período de 15 años (1995-2009), lo que resulta en una tasa anual de crecimiento de 0,4%. Por su parte, los coeficientes unitarios de consumo de energía eléctrica, con algunas fluctuaciones, muestran una ligera tendencia permanentemente creciente, aumentando en los 15 años en un 29% (tasa anual de 1,8%). El resultado de estas tendencias es que, en el período de 15 años, el consumo unitario global de energía de la minería del cobre se incrementa en un 16,4% (tasa anual de 1,1%), mientras la producción de cobre crece en un 116,6% (tasa anual de 5,7%).

El aumento que ha experimentado la intensidad de uso de energía en la década del 2000 se explica por una multiplicidad de factores.

Por una parte, en la década del 90 entraron en operación 10 faenas mineras, cuyas leyes de mineral eran bastante altas, en cambio en los últimos 9 años sólo han iniciado operaciones 3 yacimientos. Además, el envejecimiento de las minas se ve reflejado en leyes de mineral decrecientes, mayores distancias de acarreo y mayor dureza del mineral, todo lo cual se conjuga para incrementar los consumos energéticos.

Un factor que influyó fuertemente en la tendencia decreciente de los consumos energéticos, en particular de combustibles, que se observó en la década del 90, fueron los cambios tecnológicos en las fundiciones impulsados por medidas de carácter ambiental.

Por último, los cambios en la cartera de productos comerciales hacia productos más refinados, esto es, el gran crecimiento en la producción de cátodos EO también contribuye a una mayor intensidad de uso de energía en esta década.

## **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 27%, de 19.939 Terajoule (TJ) en el 2001 a 25.366 TJ en el 2009 (17% de la generación neta del SIC en este último año). Cabe destacar que en el año 2009 el consumo de energía eléctrica de la minería del cobre abastecida por ese sistema de generación se redujo en un 2% respecto a 2008. El aumento en el SING,

durante el mismo período señalado, fue de un 54%, desde 27.783 TJ a 42.821 TJ (84% 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 2001 en el SIC se emitieron 204,8 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente/GWh generado, mientras que en el SING se emitieron 637,0 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente/GWh. Es decir, en ese año, el SING emitió 3,1 veces más GEI que el SIC por cada GWh generado. En el año 2009 esa relación aumentó ligeramente a 3,2 veces (284,0 y 911,9 toneladas, respectivamente).

Esta relación se mantuvo no obstante que ocurrieron cambios relevantes en ambas matrices de generación eléctrica en el período analizado. Por una parte, el SING, que es prácticamente 100% térmico, en el año 2001 el 69% 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 2009 el 57% 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. El aumento de la participación de carbón en las dos matrices resultó finalmente en que se mantuvo la relación entre los coeficientes de emisión de ambas en el período analizado.

## **2.2 Emisiones GEI asociados a la producción de cobre**

Las emisiones de GEI de la minería del cobre crecieron entre los años 2001 y 2009 en un 95% (de 8,9 a 17,4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en el año 2009), mientras la producción de cobre creció sólo un 13,7%. 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 de las áreas mina (envejecimiento) y tratamiento de minerales lixiviables (cambios en la cartera de productos).

La producción de cobre asociada al SING incrementa sus emisiones de GEI en mayor proporción (99%) que el aumento del consumo de energía (69%), lo que se debe a que este sistema de generación incrementó en el período su emisión unitaria en un 43% por los cambios en los combustibles utilizados para la producción de electricidad. En el SIC, los aumentos en la emisión de GEI (81%) fueron proporcionalmente también mayores que

aquellos del consumo de energía (31%), debido a que la emisión unitaria de ese sistema experimentó un aumento de 38,6% en el período de 9 años.

Específicamente, los coeficientes unitarios de consumo de energía de la producción de cobre a nivel nacional se incrementan en el período 2001-2009 en un 35%, mientras que aquellos de emisión de GEI muestran una mayor tendencia creciente, en particular a contar del año 2006, aumentando en los 9 años en un 69%.

Lo anterior, 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, 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 se refleja en 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 nuevamente se ha reducido la participación de la energía eléctrica en el consumo total de energía del sector, que alcanzó su punto máximo en los años 2004-2005. En el año 2009, un 51,5% de la energía se consumió como energía eléctrica y un 48,5% 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 52% y 116% respectivamente. En el año 2009 la participación de las emisiones indirectas en las emisiones totales es de 74%.

### **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 producción<sup>5</sup> se observa que el área más consumidora de energía es la explotación minera (40%), seguida por la concentradora (23%). Es importante destacar que, mientras la explotación minera consume un 88% de su consumo total como

---

<sup>5</sup> Mina rajo y subterránea, Concentradora, Fundición, Refinería Electrolítica, Tratamiento de Minerales Lixiviables y Servicios a la producción.

combustibles, el consumo de energía del área de concentración de minerales es, en la práctica, casi exclusivamente energía eléctrica (97%). En el período 2001-2009, los consumos de energía como combustibles en la mina se incrementaron en 110% y el consumo de energía eléctrica en la concentradora aumentó en 50%.

En lo que se refiere al consumo de energía como combustibles, la explotación minera, que en 1995 consumía alrededor del 39% de los combustibles utilizados por la minería, fue incrementando su participación hasta alcanzar el 73% en el año 2009. 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 casi la mitad del total de la energía eléctrica consumida por el sector, aunque ha disminuido su participación desde un 49% en 1995 a un 44% en el año 2009.

Los coeficientes unitarios de consumo de energía<sup>6</sup>, combustibles y energía eléctrica, se incrementan en el período 2001-2009 en prácticamente todas las áreas, con la excepción de la fundición, y la refinera electrolítica.

---

<sup>6</sup> Ver Anexo II

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

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Mina Rajo</b> (MJ / TMF en mineral)	4.307,9	4.595,0	4.446,4	4.442,4	4.196,4	4.465,0	5.119,6	5.634,4	6.764,3
<b>Mina Subterránea</b> (MJ / TMF en mineral)	947,0	1.069,7	1.129,0	1.000,6	1.333,1	1.563,9	1.808,5	1.297,6	1.530,1
<b>Mina <sup>(1)</sup></b> (MJ / TMF en mineral)	3.808,4	4.076,9	3.964,4	3.932,9	3.799,9	4.084,6	4.702,9	5.186,4	6.155,9
<b>Concentradora</b> (MJ / TMF en concentrado)	200,4	188,8	203,4	176,2	215,8	185,4	188,6	233,4	238,6
<b>Fundición</b> (MJ / TMF en ánodos)	6.063,7	5.275,1	5.087,8	4.699,8	4.965,3	4.827,9	4.964,9	5.170,3	4.531,4
<b>Refinería</b> (MJ / TMF en cátodos ER)	1.284,2	1.378,4	1.401,7	1.475,2	1.751,7	1.603,7	1.504,0	1.195,1	1.097,3
<b>LX / SX / EW</b> (MJ / TMF en cátodos EO)	2.278,9	2.329,4	2.620,6	2.669,1	2.905,5	2.893,8	3.094,6	3.080,1	3.003,1
<b>Servicios</b> (MJ / TMF total producido)	357,7	377,0	510,8	318,6	278,3	280,0	266,1	256,7	366,9

(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)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Mina Rajo</b> (MJ / TMF en mineral)	445,0	485,5	544,2	585,6	639,7	614,3	619,9	654,8	731,5
<b>Mina Subterránea</b> (MJ / TMF en mineral)	1.248,3	1.337,3	1.394,5	1.257,9	1.558,5	1.693,5	1.692,3	2.099,4	1.971,5
<b>Mina <sup>(1)</sup></b> (MJ / TMF en mineral)	570,4	618,3	673,5	689,1	770,0	758,5	757,3	808,2	878,1
<b>Concentradora</b> (MJ / TMF en concentrado)	6.111,8	6.881,7	7.135,3	6.942,7	7.240,9	7.424,6	7.862,7	8.208,5	9.055,5
<b>Fundición</b> (MJ / TMF en ánodos)	3.494,1	3.694,0	3.792,0	3.836,2	3.771,7	3.778,7	3.887,1	3.692,1	3.531,9
<b>Refinería</b> (MJ / TMF en cátodos ER)	1.245,4	1.243,4	1.238,1	1.276,8	1.269,9	1.233,4	1.221,2	1.285,1	1.254,8
<b>LX / SX / EW</b> (MJ / TMF en cátodos EO)	9.542,5	9.974,0	10.221,9	10.429,0	10.082,3	10.128,7	10.479,6	10.702,3	10.295,8
<b>Servicios</b> (MJ / TMF total producido)	524,8	556,0	500,3	515,9	576,1	502,5	443,2	558,0	615,4

(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 2001 y 2009 las emisiones totales de GEI aumentan, en mayor o menor medida, en todas las áreas de producción de la minería del cobre.

En el año 2009, del cálculo de las emisiones GEI totales por área del proceso, se concluye que el tratamiento de minerales lixiviables (31% del total de emisiones directas e indirectas generadas por el sector) desplazó a la concentradora (27%) como la principal área generadora de emisiones, seguidas luego por la mina rajo (22%) y la fundición (9%).

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**  
(TM CO<sub>2</sub>eq./TMF en el producto de cada etapa)

	Unidades	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Mina Rajo</b>	mineral	0,37	0,38	0,39	0,38	0,42	0,45	0,51	0,55	0,65
<b>Mina Subte.</b>	mineral	0,13	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18	0,28	0,28	0,28
<b>Concentradora</b>	concentrado	0,70	0,78	0,80	0,92	0,92	1,04	1,40	1,50	1,46
<b>Fundición</b>	ánodo	0,80	0,78	0,73	0,78	0,76	0,82	1,02	1,07	0,90
<b>Refinería</b>	cátodo ER	0,25	0,26	0,24	0,26	0,27	0,25	0,31	0,31	0,29
<b>LX-SX-EW</b>	cátodo EO	1,74	1,94	1,80	2,06	1,91	2,21	2,67	2,81	2,62
<b>Servicios</b>	total producido	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,17	0,19

**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 electro-refinados (ER) y cátodos electro-obtenidos (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 15,98 Gigajoule/TMF y SIC 17,67 Gigajoule/TMF en el año 2009), las cargas unitarias de emisión de cada uno de ellos difieren sustancialmente, siendo la de los concentrados SING entre 1,5 y 2,4 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 2009 un 33% de la producción chilena de cobre se exportó como concentrados y el resto como cobre refinado. Dentro de esta última categoría se produjeron 1,07 millones de TMF de cátodos electro-refinados (ER) y 2,11 millones de TMF de cátodos electro-obtenidos (EO). Otro de los resultados del estudio es que, en ese año, si bien la producción de un cátodo ER demandó un 5% más de energía que la producción de uno EO (28,5 versus 27,0 Gigajoule, respectivamente), emitió un 19,7% menos de GEI (3,30 versus 3,95 toneladas de CO<sub>2</sub> 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 carga unitaria de emisión de los principales productos comerciales de cobre de Chile, se tiene que en el año 2009 los valores promedio ponderado país son los siguientes:

<b>Producto</b>	<b>TM CO<sub>2</sub> equivalente/TMF</b>
Concentrado	2,18
Cátodo Electro-refinado	3,30
Cátodos Electro-obtenido	3,95

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

### **ALGUNAS REFLEXIONES FINALES**

Los resultados al año 2009, en cuanto al aumento de los consumos totales y unitarios de energía en el período que comprende el estudio, muestran que el sector minería del cobre en los 9 últimos años ha experimentado un aumento en la intensidad de uso de energía, tendencia que se irá acentuando a futuro por el envejecimiento de las minas actualmente en explotación.

El envejecimiento de las minas, que conlleva la disminución en la ley de los minerales extraídos, aumento de las distancias de acarreo, mayor dureza de los minerales, entre otros, son temas estructurales de la industria minera que se reflejan en un incremento de la intensidad de uso de energía, muy difícil de revertir con medidas de eficiencia energética

Los cambios tecnológicos en las fundiciones de concentrados de cobre, así como el gran crecimiento de la producción de cátodos por la vía hidrometalúrgica, se reflejaron en una modificación de los patrones de

consumo de energía de la minería del cobre 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, cuando la mayoría de los grandes yacimientos que entraron en operación en la década del 90 llevaban 10 o más años de operación, esta tendencia se revierte y en el año 2009 un 51,5% corresponde a energía eléctrica y un 48,5% a una variada gama de combustibles, reflejando el envejecimiento de las minas y los mayores consumos de combustibles en la extracción de mineral.

Los principales combustibles consumidos directamente por la minería del cobre en el año 2009 son: petróleo Diesel (78,3%), Enap 6 (16,1%) y Gas Natural (3%), siendo marginal la participación de los otros combustibles (carbón, kerosene, gas licuado y gasolinas).

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 responsables de estos incrementos son el área de extracción minera y el tratamiento de minerales lixiviables. Los consumos unitarios totales de energía del área mina se han incrementado a una tasa anual de 6% en los últimos 9 años por las bajas en las leyes de los minerales producto del envejecimiento de las minas.

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 54%, alcanzando en el 2009 un valor de 3,22 TM CO<sub>2</sub> 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 entre el 2001 y el 2009 un 116%, debido al incremento de los coeficientes unitarios de emisión de ambos sistemas de generación, a pesar que en el año 2009 los coeficientes unitarios del SIC se reducen en 12,6% y los del SING en 4,3%, respecto del año anterior.

En términos de emisiones de GEI, se mantiene la 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 2009, un 51,5% 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.

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, y en particular del consumo unitario de combustibles, que sólo en el último año se incrementó en casi 12%.

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

Tal como se anunció en la versión 2008 de este trabajo, a contar de ese año se están realizando actualizaciones anuales 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. Las versiones anteriores de los 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, pueden ser consultados en nuestra página web<sup>789101112</sup>.

Para tener una visión completa de la década, 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 realizan para el período de 9 años, comprendidos entre el 2001 y el 2009.

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 trabajo<sup>13</sup>.

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

---

<sup>7</sup> 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](http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2006.asp)

<sup>8</sup> 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](http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2007.asp)

<sup>9</sup> 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](http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2008.asp)

<sup>10</sup> 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](http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2007.asp)

<sup>11</sup> 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](http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2008.asp)

<sup>12</sup> Consumo de Energía y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Minería del Cobre de Chile. Año 2008. [http://www.cochilco.cl/productos/politica\\_estudios\\_2009.asp](http://www.cochilco.cl/productos/politica_estudios_2009.asp)

<sup>13</sup> 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, las que en el año 2009 representan el 99% de la producción de cobre de Chile.

La información proporcionada por las empresas respecto de consumo de combustibles y energía eléctrica en cada una de las áreas de producción de cobre, permite calcular 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 determina el promedio ponderado del Coeficiente Unitario Global de cada una de las áreas del proceso de producción de cobre en Chile, en el período considerado en el estudio,

En el ámbito de las emisiones de gases de efecto invernadero, se aborda el tema de las emisiones directas<sup>14</sup> e indirectas<sup>15</sup> 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 electro-refinados, cátodos electro-obtenidos y ánodos) y áreas de procesos (mina, concentradora, fundición, refinería, lixiviación-extracción por solventes-electro-obtención, 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 2009, mientras la producción de total de cobre aumentó en 1,2%, el consumo total de energía del sector minería del cobre se incrementó en

---

<sup>14</sup>Emisiones "in situ" resultantes de la combustión de combustibles fósiles.

<sup>15</sup>Emisiones 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

9%. Lo anterior significó que los coeficientes unitarios<sup>16</sup> de consumo de energía total aumentarían en el último año en casi un 8%, resultando un valor promedio de 24.625 MJ/TMF.

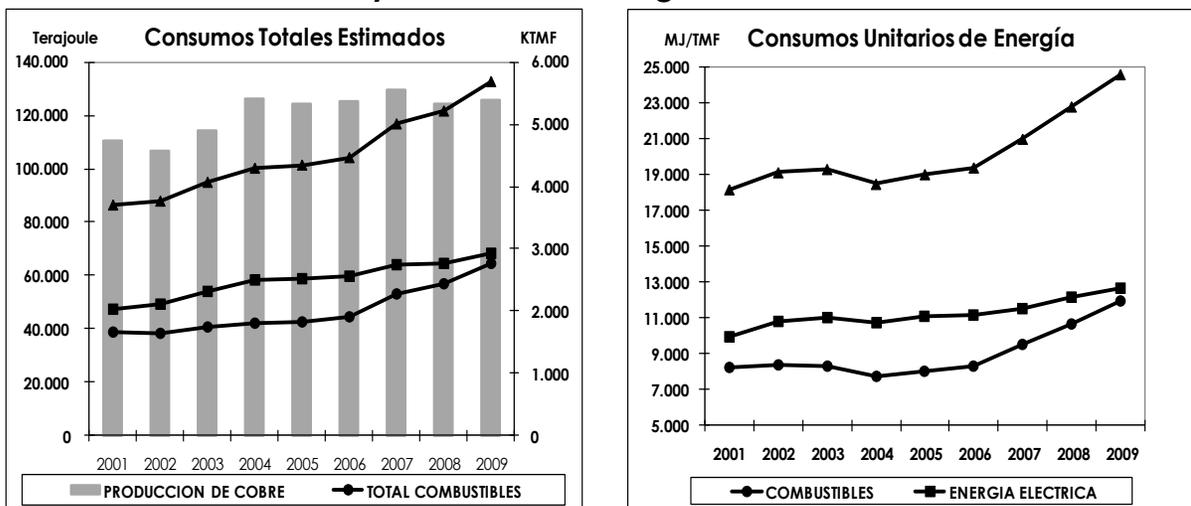
Tomando como año base el 2001 para el análisis, se tiene que los coeficientes unitarios de consumo de energía total de la minería del cobre de Chile se incrementaron en el período de 9 años en un 35%.

Los resultados indican que, mientras la producción total de cobre aumentó en 13,7% en el período de 9 años, el consumo total estimado de energía se incrementó en 54%, (de 86.234 Terajoule en el 2001 a 132.720 Terajoule en el año 2009).

La energía consumida como combustibles se incrementó entre 2001 y 2009 en un 65%, mientras que el consumo de energía eléctrica lo hizo en 44,5%.

Los coeficientes unitarios globales de consumo de energía se mantienen relativamente estables los primeros 6 años del período, pero a contar del 2007 experimentan un fuerte crecimiento, impulsados principalmente por el incremento en los consumos unitarios de combustibles los que en los últimos 3 años crecen en un 44% (12% sólo en el año 2009), mientras que la energía eléctrica entre el 2006 y el 2009 aumenta sólo en un 14% (4,5% el 2009).

**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

<sup>16</sup> Consumo Unitario: energía consumida para producir una unidad de producto (1 tonelada de cobre fino contenido).

Los resultados anteriores se explican por una diversidad de factores, tales como disminuciones en la ley y aumento de la dureza 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 27%, de 19.939 Terajoule (TJ) en el 2001 a 25.366 TJ en el 2009 (17% de la generación neta del SIC). Cabe destacar que en el año 2009 la demanda de energía eléctrica de la minería del cobre abastecida por ese sistema de generación se redujo en un 2%.

El aumento en el SING, durante el mismo período, fue de un 54%, desde 27.783 TJ a 42.821 TJ (84% 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 2001 en el SIC se emitieron 204,8 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente/GWh generado, mientras que en el SING se emitieron 637,0 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente/GWh. Es decir, en ese año, el SING emitió 3,1 veces más GEI que el SIC por cada GWh generado. En el año 2009 esa relación aumentó ligeramente a 3,2 veces (284,0 toneladas y 911,9 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 2001 el 69% 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 2009 el 57% 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.

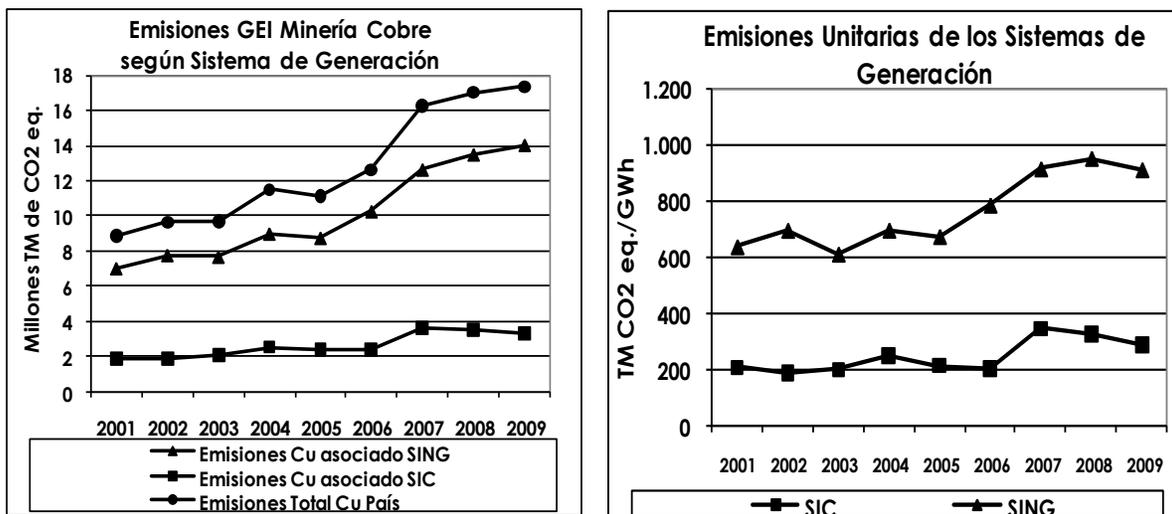
### **2.2 Emisiones de GEI asociadas a la producción de cobre**

Las emisiones de GEI de la producción de cobre crecieron entre los años 2001 y 2009 en un 95% (de 8,9 a 17,4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>

equivalente en el año 2009). 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 (99%) que el aumento del consumo de energía (69%), lo que se debe a que este sistema de generación incrementó en el período su emisión unitaria en un 43% por los cambios en los combustibles utilizados para la producción de electricidad. En el SIC, los incrementos en la emisión de GEI (81%) fueron proporcionalmente también mayores que aquellos del consumo de energía (31%), debido a que la emisión unitaria de ese sistema también experimentó un aumento de 38,6% en el período de 9 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**



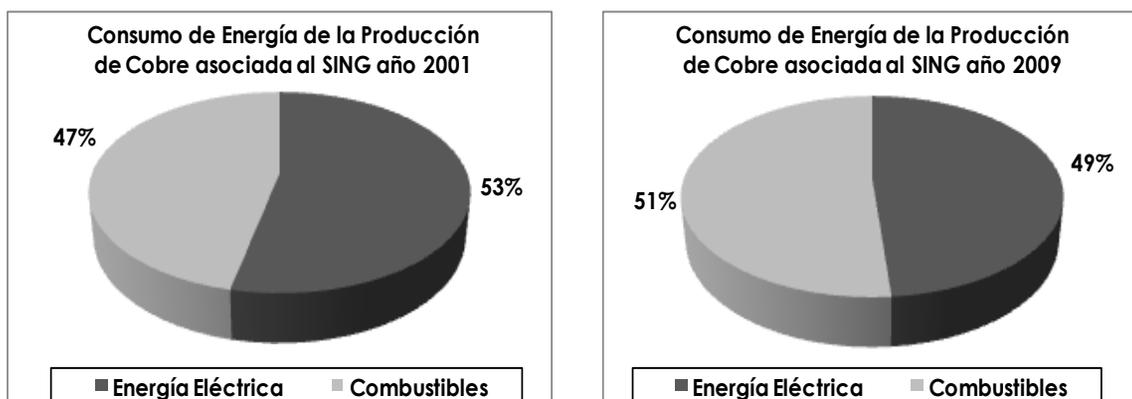
**Fuente:** Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas, la CNE y el CDEC

Durante todo el período de 9 años, las emisiones unitarias del SING son entre 2,7 y 3,9 veces superiores a las del SIC, 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 2001-2009 en un 35%, mientras que aquellos de emisión de GEI muestran una

mayor tendencia creciente, en particular a contar del año 2005, aumentando en los 5 últimos años en un 54%.

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.

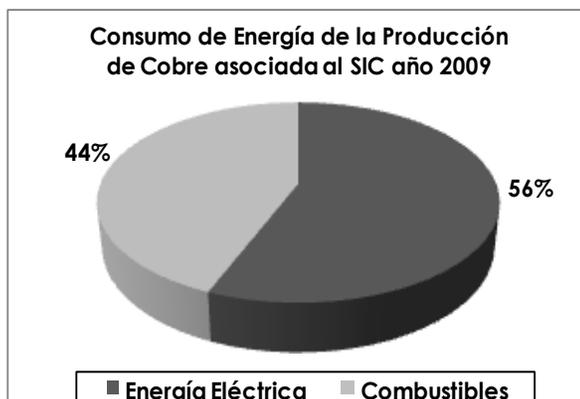
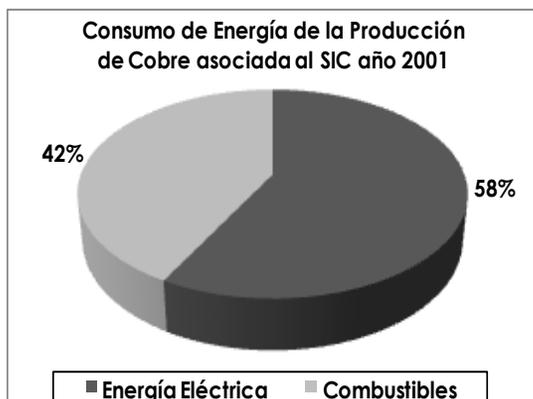


**Fuente:** Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a información de las empresas

### **Matriz Energética del SING 2001 y 2009**

<b>COMBUSTIBLE</b>	<b>2001</b>	<b>2009</b>
Diesel	1,5%	20,1%
Petróleo Combustible	0,4%	2,1%
Diesel + Petróleo Combustible		0,6%
Carbón Bituminoso	29,0%	40,1%
Gas Natural	69,1%	20,1%
Carbón + Petcoke		16,5%
<b>Total Generación Térmica</b>	<b>99,6%</b>	<b>99,6%</b>
<b>Total Generación Hidráulica</b>	<b>0,4%</b>	<b>0,4%</b>
<b>Total Generación</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

**Fuente:** Elaborado sobre la base de los Anuarios CDEC SING



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

### Matriz Energética del SIC 2001 y 2009

COMBUSTIBLE	2001	2009
Diesel	0,01%	40,5%
Petróleo Combustible		0,1%
Carbón Bituminoso	29,6%	39,4%
Petcoke	5,4%	2,8%
Gas natural	61,1%	11,2%
Desechos forestales + Licor Negro	4,0%	6,0%
<b>Total Generación Térmica</b>	<b>31,6%</b>	<b>32,6%</b>
<b>Total Generación Hidráulica</b>	<b>68,4%</b>	<b>66,5%</b>
<b>Total Generación Eólica</b>		<b>1,0%</b>
<b>Total Generación</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

**Fuente:** Elaborado sobre la base de Anuario CDEC SIC

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. Aunque este año se solicitó esta última información a las faenas, sólo una empresa informó la distancia media de acarreo.

Este incremento en los consumos de combustibles, en desmedro de la electricidad, ha significado que por quinto 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 2005. En el año 2009, un 51,5% de la energía se consumió como energía eléctrica y un 48,5% como combustibles.

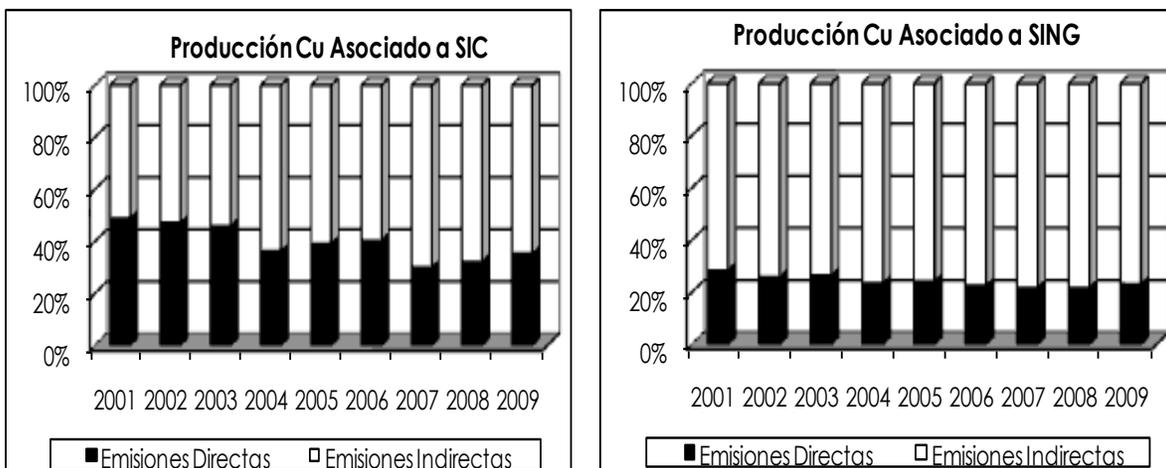
Los altos porcentajes de generación en base a diesel es una situación transitoria, que se mantendrá mientras entran en operación las centrales de generación a carbón en construcción y se normaliza el abastecimiento de gas natural con la entrada en operación de las plantas de gas natural licuado (GNL), no obstante que, por su alto costo, es poco probable que se incremente mucho la participación de este último en la matriz de generación.

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 2001-2009 de un 49% a un 35%, mientras las indirectas (abastecida por el SIC) se incrementan de un 51% a un 65%. 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 28% a 23%, mientras las indirectas suben de 72% a 77%, 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**

En cuanto a la participación en el consumo total de energía de cada una de las áreas definidas del proceso de producción<sup>17</sup>, el área más consumidora de energía es la explotación minera (40%), seguida por la concentradora (23%). Es importante destacar que, mientras la explotación minera consume un 88% 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 2001-2009, los consumos de energía como combustibles en la mina se incrementaron en 110% y el consumo de energía eléctrica en la concentradora aumentó en 50%.

Para analizar la evolución del consumo de energía en el área de fundición es recomendable utilizar un período más amplio de tiempo, ya que, a contar de los primeros años de la década del 90, las fundiciones experimentaron profundos cambios tecnológicos impulsados por medidas ambientales, que implicaron una disminución en su consumo unitario de energía. Es así como el área de fundición entre 1995 y 2009 disminuyó su participación relativa en el consumo total de energía del sector desde un 31,5% a un 9,4%, no obstante que la producción del área, con algunas fluctuaciones, se incrementó en promedio en el período en un 17%. 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 el año 2001 consumía alrededor del 57% de los combustibles utilizados por la minería, fue incrementando su participación hasta alcanzar a 73% en el año 2009. 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 casi la mitad del total de la energía eléctrica consumida por el sector, con valores en torno a 44,5% como promedio del período de 9 años.

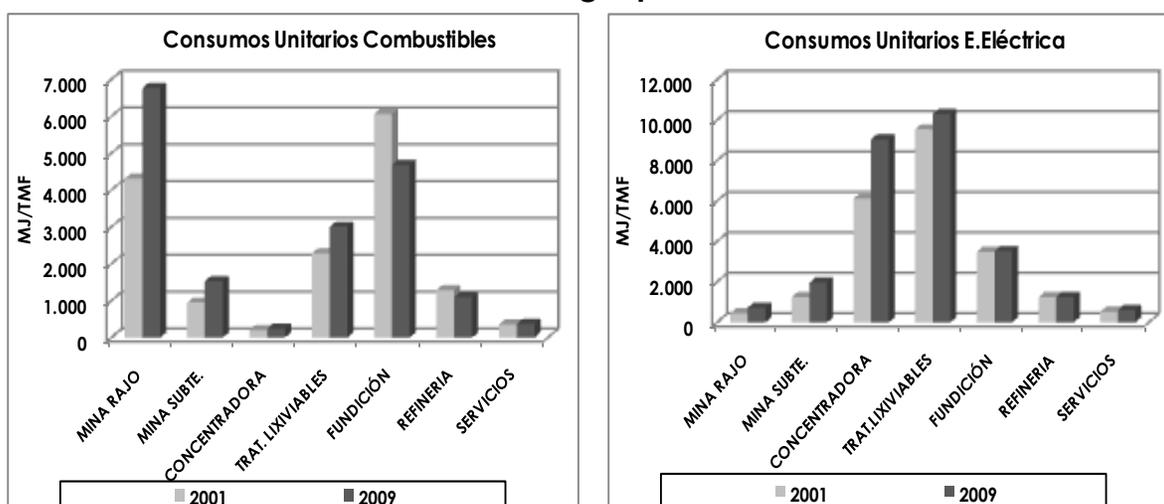
---

<sup>17</sup> Mina rajo y subterránea, Concentradora, Fundición, Refinería Electrolítica, Tratamiento de Minerales Lixiviabiles y Servicios a la producción.

Otro hecho relevante es el importante aumento de participación en el consumo energético del área de tratamiento de minerales lixiviables, que entre el 2001 y el 2009 fluctúa alrededor del 21,5%. Esto se debe al incremento en la producción de cobre a partir de este tipo de minerales en la última década. Las distintas etapas del procesamiento hidrometalúrgico son fundamentalmente consumidoras de energía eléctrica (bombeo de soluciones en la etapa de lixiviación y extracción por solvente, y la electrodeposición), lo que hace que su participación en el consumo total de energía eléctrica alcance a 32% en el año 2009, mientras que en el consumo de combustibles llega sólo a un 10%.

Los coeficientes unitarios de consumo de energía<sup>18</sup> se incrementan en el período 2001-2009 en prácticamente todas las áreas, con la excepción de los combustibles en fundición y refinería electrolítica. En el último año 2009 bajan los coeficientes unitarios tanto de combustibles como de energía eléctrica en las áreas de tratamiento de minerales lixiviables, fundición y refinería.

**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 2001 y 2009 las emisiones totales de GEI aumentan, en mayor o menor medida, en todas las áreas de producción de la minería del cobre, con la única excepción de las

<sup>18</sup> Ver Anexo II

emisiones directas en fundición y refinería, como se muestra en la Figura N° 5 siguiente.

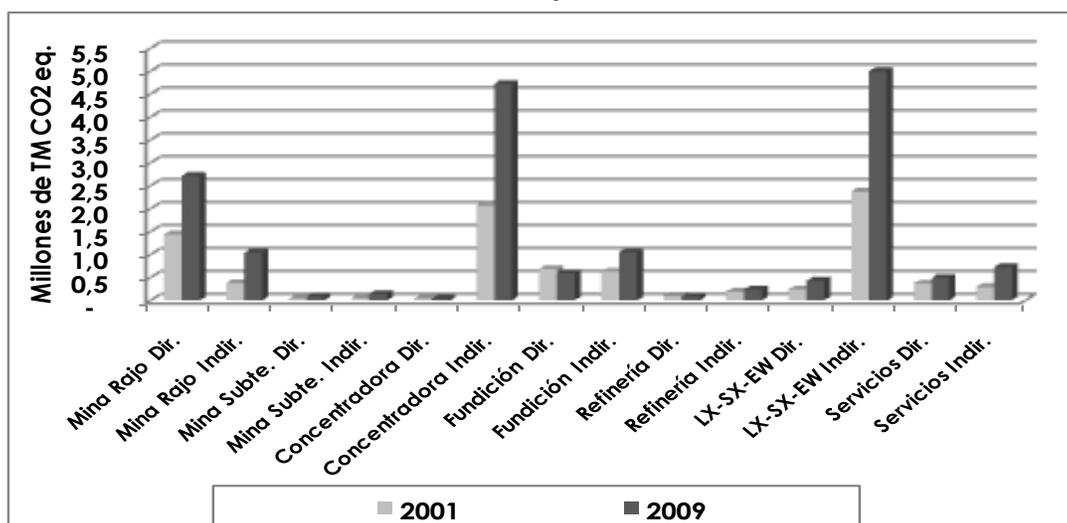
A pesar que el área más consumidora de energía es la explotación minera, seguida por la concentradora y el tratamiento de minerales lixiviables, en lo que se refiere a emisiones totales de GEI, el tratamiento de minerales lixiviables aporta un 31%, luego está la concentradora con un 27% y el área mina con 22%.

Las emisiones en el área mina rajo se incrementan en un 107% en el período, mientras la producción de cobre fino de mina aumenta sólo en 35%. Su participación en las emisiones totales se mantiene alrededor de 21%.

Las emisiones directas en el área mina rajo disminuyen su participación de un 79% a un 72%, mientras que las emisiones indirectas suben de 21% a 28%.

La Carga Unitaria de Emisión<sup>19</sup> (CUE) de las minas rajo SING aumenta en un 68% entre el 2001 y 2009, mientras que la de las minas rajo del SIC lo hacen en un 110%. Debido a que la producción de cobre de mina rajo proviene mayoritariamente (77%) 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 2009 de 0,65 TM CO<sub>2</sub> / TMF en mineral.

**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.

<sup>19</sup> Carga Unitaria de Emisión (CUE) corresponde a las toneladas de CO<sub>2</sub> emitido por tonelada de cobre fino producido.

En el área mina subterránea las emisiones de GEI se incrementan en un 131% en el período y la producción de cobre fino disminuye en un 3%. Su participación en las emisiones totales se mantiene relativamente estable en torno a 1%.

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 121%, mientras la producción de cobre fino de este tipo de mina en el SIC prácticamente no experimenta variaciones.

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 la producción total de mina subterránea, resultando un valor de CUE para el año 2009 de 0,28 TM CO<sub>2</sub> / 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 127% entre el 2001 y el 2009, mientras que el cobre fino contenido en los concentrados producidos aumenta sólo en 1%. 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 (109%), alcanzando en el año 2009 un valor de 1,46 TM CO<sub>2</sub> / 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 15% en 2001 a un 9% en el 2009. Las emisiones del área se incrementan en un 25%, 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 un 21% entre 2001 y 2009, y la de las fundiciones asociadas al SIC se reduce entre 2001 y 2006 en un 25%, para luego experimentar un incremento de 32% en

los últimos 3 años, resultando una reducción promedio de un 1% en el período. Los promedios ponderados país de la CUE para las fundiciones crecen un 13%, alcanzando en el año 2009 un valor de 0,90 TM CO<sub>2</sub> 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 la mayor parte del período). Las emisiones de las refinерías electrolíticas del país se incrementan entre 2001 y el 2009 en un 9%, mientras la producción de cátodos electro-refinados (ER) disminuye un 10%.

El promedio ponderado país de la Carga Unitaria de Emisión (CUE) de las refinерías electrolíticas alcanza en el año 2009 un valor de 0,29 TM CO<sub>2</sub> equivalente / TMF en cátodos ER.

El área de tratamiento de minerales lixiviables aumenta sus emisiones en el período en un 108%, mientras la producción de cobre proveniente de este tipo de minerales aumenta entre 2001 y 2009 en un 37%

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 92%.

Es importante destacar que más del 90% del cobre producido por la vía hidrometalúrgica 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 96%.

En el año 2009 la CUE promedio ponderado país del área de tratamiento de minerales lixiviables alcanza un valor de 2,62 TM CO<sub>2</sub> equivalente / TMF en cátodos electro-obtenidos (EO).

Las emisiones totales del área servicios se incrementan en el período de 9 años en un 84%. En el año 2009 la CUE del área servicios alcanza un valor promedio ponderado país de 0,19 TM CO<sub>2</sub> equivalente/TMF total producido.

La evolución de los valores de las cargas unitarias de emisión (CUE), por áreas de producción, para el período 2001 – 2009 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**

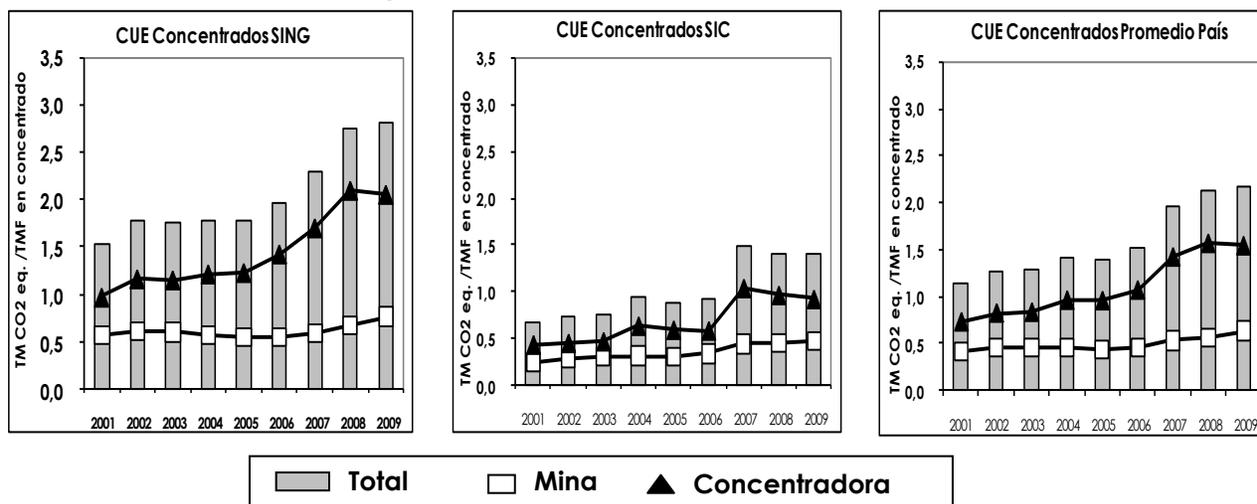
En el año 2009 la DUE promedio ponderado país de los concentrados se incrementa en un 10% respecto del año anterior, principalmente por un mayor consumo unitario en el área mina, alcanzando un valor de 16,74 GigaJoule /TMF en concentrados que es un 42% superior al valor del año 2001. En general, las 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 2,81 TM de CO<sub>2</sub> equivalente por TMF en el año 2009. Lo anterior se debe al incremento, en los últimos años, de los coeficientes unitarios de emisión del SING 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).

Durante todo el período 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 63% en el 2001 a 73% en el 2009.

Las CUEs de los concentrados producidos con energía eléctrica del SIC se incrementan en un 109%, alcanzando en el año 2009 un valor de 1,40 TM de CO<sub>2</sub> equivalente por TMF. Esto se debe a que el perfil de emisiones unitarias del SIC experimenta un crecimiento de 39% 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 65%.

**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 promedio ponderado del total de los concentrados producidos en el país muestran un incremento de 91% entre el año 2001 y el 2009, alcanzando este último año un valor de 2,18 TM de CO<sub>2</sub> equivalente por TMF en concentrados.

Cabe destacar que, como se observa en los gráficos, la CUE de los concentrados aumenta por una mayor influencia del área mina, ya que en particular en el año 2009 la contribución de la concentradora decrece por una reducción en los coeficientes unitarios de emisión de los sistemas de generación.

## 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 20 y 30 GJ/TMF en ánodos. Las DUEs de los ánodos SING aumentan en el período en un 23%, con un

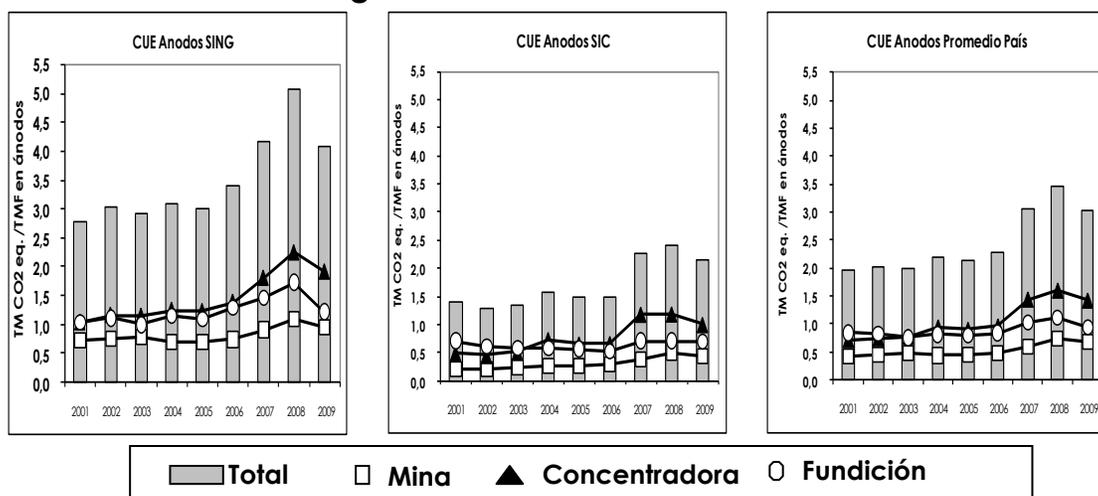
valor en el año 2009 de 24,8 GJ, mientras que las de los ánodos SIC se incrementan en un 15%, alcanzando el 2009 un valor de 26,1 GJ.

En el año 2009, la DUE de los ánodos promedio ponderado país tiene una contribución de 30% de la etapa mina, 38% de la concentradora y 32% de la fundición.

En el año 2009 la DUE de los ánodos promedio ponderado país se reduce en 7%, principalmente por menores demandas unitarias de energía del área 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 en los 9 años un 47%, llegando a un valor de 4,09 TM de CO<sub>2</sub> equivalente por TMF en ánodos en el año 2009. Por su parte, la CUE de los ánodos SIC aumenta entre 2001 y 2009 en un 52%, para alcanzar el año 2009 un valor de 2,15 TM de CO<sub>2</sub> equivalente por TMF en ánodos.

Como se puede observar en los gráficos anteriores las CUEs de los ánodos del SING y SIC disminuyen en el año 2009 en un 19% y 11% respectivamente. En el caso del SING esto se explica, principalmente, por una reducción (27%) de la DUE del área fundición, pero también influye la

reducción de los coeficientes unitarios de emisión del SING y SIC que bajan en un 4% y 13% respectivamente.

La CUE promedio ponderado de los ánodos producidos en el país aumenta entre el 2001 y el 2009 en un 54%, alcanzando en el año 2009 un valor de 3,04 TM de CO<sub>2</sub> equivalente por TMF en ánodos, valor que es un 12% inferior al del año anterior.

### **4.3 Cátodos ER**

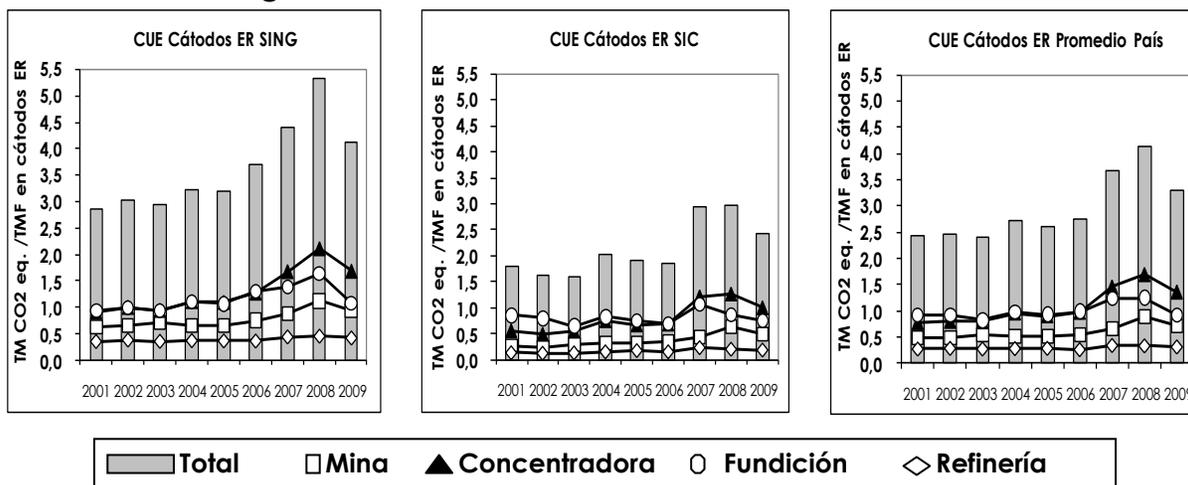
La DUE de los cátodos ER fluctúa entre 22,9 y 33,5 Gigajoule/TMF, tanto en el SING como en el SIC. Las DUEs promedio ponderado de los cátodos ER producidos en Chile muestran entre los años 2001 y 2008 una tendencia creciente (28%), reduciéndose el año 2009 en un (9%) para alcanzar un valor de 28,5 GigaJoule/TMF en cátodos ER. Está baja en la demanda unitaria de energía está impulsada principalmente por bajas en el área de fundición.

Las contribuciones a la DUE de los cátodos ER del área mina y concentradora suben de 25% a 28% y de 23% a 34% respectivamente, mientras la fundición reduce su contribución de 41% a 30% y la refinería de 11% a 8%.

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.

La CUE de los cátodos ER del SING aumenta entre los años 2001 y 2008 en un 86%, pero en el año 2009 se reduce en casi un 23%, llegando a un valor de 4,12 TM de CO<sub>2</sub> equivalente por TMF en cátodos ER. El incremento del valor de la CUE, principalmente entre los años 2006 y 2008, se debe fundamentalmente al aumento de las emisiones unitarias del SING. La reducción en el año 2009 se explica por la baja de los coeficientes unitarios de emisión del SING y algunos cambios en las fundiciones que se reflejaron en menores consumos de energía y la consiguiente reducción en las emisiones.

**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 SIC crece entre el 2001 y el 2008 en un 66%, impulsada por mayores consumos unitarios en el área mina y concentradora, pero en el 2009 se reduce en 18%, con lo que el crecimiento promedio en 9 años resulta de un 35,5%. En el año 2009 se tiene un valor de 2,42 TM de CO<sub>2</sub> 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 6 años del período, para luego aumentar fuertemente en los años 2007 y 2008 (51%), y bajar en el año 2009 en un 20%, alcanzando este último año un valor de 3,3 TM de CO<sub>2</sub> equivalente por TMF en cátodos ER.

#### 4.4 Cátodos EO

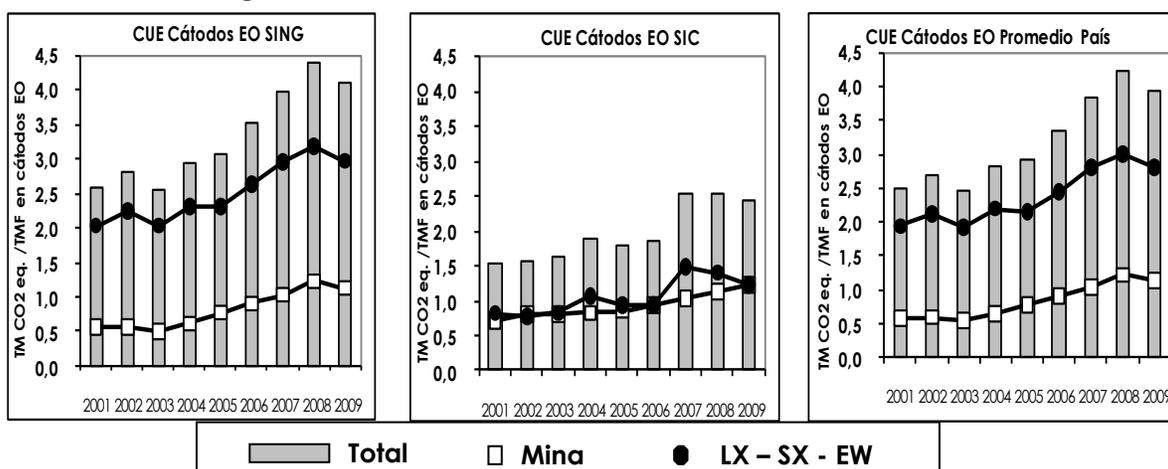
Los cátodos electro-obtenidos (EO), que se obtienen mediante el tratamiento hidrometalúrgico de minerales lixiviables, incrementaron su producción entre 2001 y el año 2009 en un 37%, debido a que la mayoría de las operaciones de este tipo se encuentran operando a régimen y sólo han entrado en operación 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 9 años entre 20 y 31 Gigajoule/TMF.

La DUE promedio ponderado del total de los cátodos producidos en el país se incrementa entre el año 2001 y el 2008 en un 37%, para luego reducirse en el 2009 en un 4%, llegando en ese año a un valor de 27,0 Gigajoule / TMF en cátodos EO.

En el promedio ponderado país la mina aumenta su contribución de 33% a 46%, mientras que el conjunto de las operaciones de tratamiento de minerales lixiviables (LX-SX-EW) la disminuye de 67% a 54%.

**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 muestran una fuerte tendencia creciente entre los años 2004 y 2008 (50%), para reducirse en 7% en el año 2009, alcanzando a un valor de 4,1 TM CO<sub>2</sub> 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 relativamente estables en los primeros 6 años, para luego incrementarse fuertemente a contar del año 2007, influidas principalmente por un aumento en las emisiones unitarias de la mina. En los 9 años la CUE de los cátodos EO del SIC

aumenta en un 59%, llegando en el año 2009 a un valor de 2,44 TM CO<sub>2</sub> 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 promedio en el período un 57%, para alcanzar en el año 2009 un valor de 3,95 TM CO<sub>2</sub> equivalente/ TMF en cátodos EO.

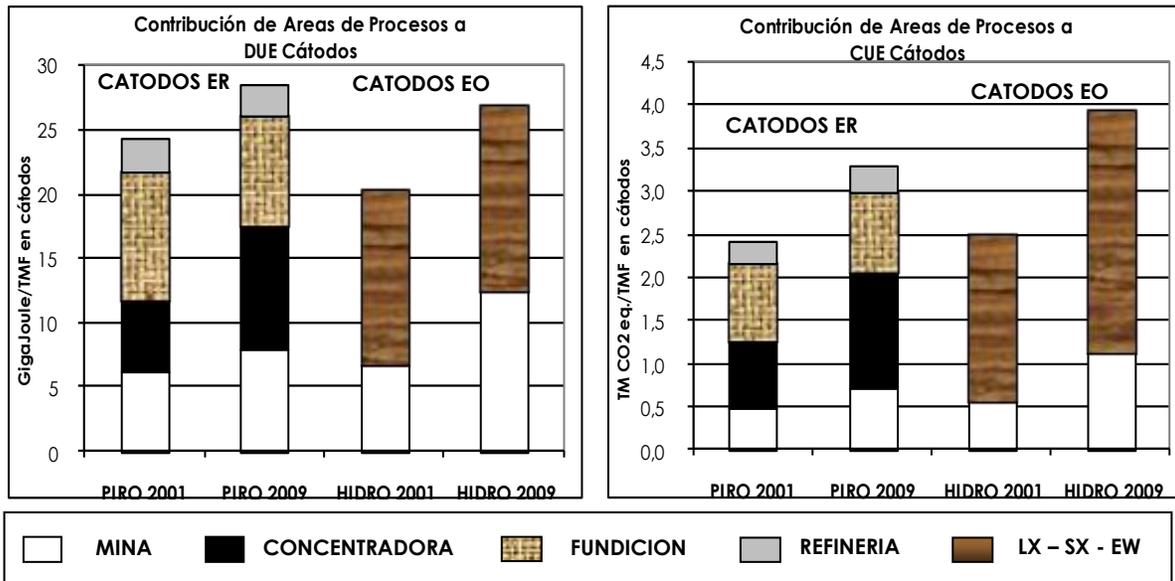
#### **4.5 Cátodos ER versus Cátodos EO**

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 que los de los cátodos ER (vía piro), aunque las diferencias se han ido reduciendo. Esto significa que la producción de 1 tonelada de cátodos ER gastó en el año 2001 un 16% más de energía que la producción de 1 tonelada de cátodos EO. En el año 2008 el mayor gasto se redujo a 10% y en el año 2009 a 5%. Por otra parte, los consumos unitarios de energía de la vía piro (cátodos ER) muestran en el período una tendencia creciente menor (17%) que aquellos de la vía hidro (cátodos EO) (32%). Lo anterior es un reflejo de las caídas en las leyes de los minerales tratados (22%) y en las recuperaciones del proceso (23%), 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 2001, con el consiguiente mayor gasto de energía.

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 2001 la producción de 1 tonelada de cátodos EO generó un 3% más de emisiones que la producción de 1 tonelada de cátodos ER, porcentaje que aumenta en el año 2009 a un 19,7%. Por otra parte, ambas vías de producción de cobre muestran entre los años 2001 y 2009 una tendencia creciente en cuanto a emisiones de GEI, incrementándose las emisiones unitarias de la línea piro en un 36%, mientras que las de la vía hidro lo hacen en un 57%.

Figura N° 10



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

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 electro-depositación, 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 ha experimentado, a contar del 2006 un aumento de sus coeficientes unitarios de emisión, debido al déficit de abastecimiento de gas natural.

### ESTUDIO PROSPECTIVO 2009 VERSUS RESULTADOS REALES

Resulta interesante comparar los resultados reales en cuanto a consumo de energía y emisiones de GEI obtenidos en este estudio, con los resultados para el año 2009 del Estudio Prospectivo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Minería del Cobre en Chile, realizado por COCHILCO el año pasado.

En primer lugar, en términos de la cartera de productos, la producción proyectada de cátodos EO prácticamente coinciden con los realmente producidos (-0,13%). Se comercializó un 6,6% menos de concentrado que lo proyectado, pero se produjo un 8% más de cátodos ER y otros refinados que lo estimado para el 2009 en el estudio prospectivo.

Lo anterior da como resultado que al comparar el escenario BAU<sup>20</sup> proyectado para el 2009 en relación a consumos energéticos con los datos reales, se tiene que los consumos de energía eléctrica son prácticamente iguales, pero el consumo proyectado de combustibles es un 12% inferior al consumo real del año, lo que significa que el consumo total proyectado de energía es un 6% inferior al real. Esto se debe, principalmente, a que los consumos unitarios de combustibles en el área mina crecieron en el 2009 a una tasa muy superior a la de años anteriores. Esta subestimación de los consumos de combustibles puede significar que a futuro los consumos reales sean mucho mayores que los proyectados.

En cuanto a emisiones de GEI, las emisiones directas proyectadas son **3%** inferiores a las reales (subestimación en el consumo de combustibles), en cambio las emisiones indirectas proyectadas fueron casi **9%** superiores a las reales. Lo anterior se debe a que, el coeficiente unitario de emisión del SING, proyectado en base a la información entregada por la Comisión Nacional de Energía, resultó un **7%** superior al real en el caso del SING, donde se produjo el **64%** del cobre en el año 2009. Todo lo anterior redundo en que en el estudio prospectivo se sobreestimaron las emisiones totales de GEI en un **5,6%**.

## 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 el 2001 y el 2009 en un 35%, llegando a un valor de 24,6 GigaJoule/TMF producido (sólo en el año 2009 creció en 8%). Los resultados anteriores, que se explican por una serie 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 9 años, ha experimentado un aumento en la intensidad de uso de energía a una tasa promedio anual de 3,9%.

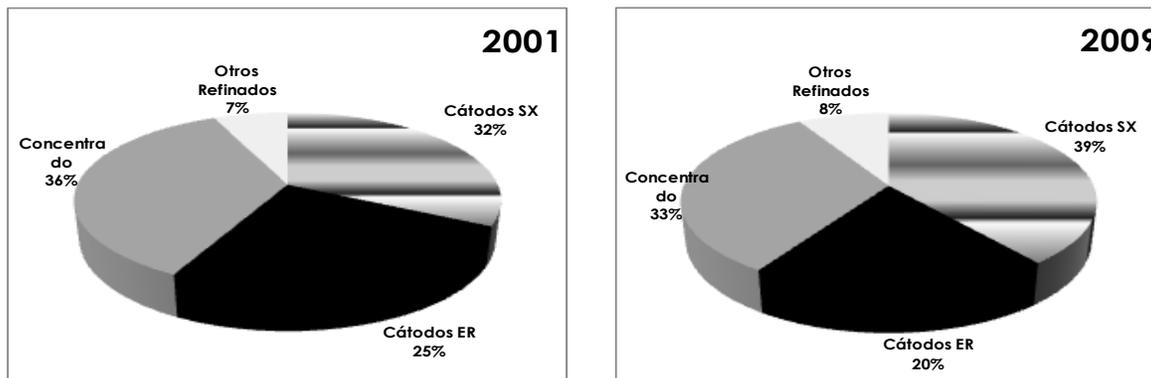
En el período considerado en el estudio (2001-2009), la mina incrementa los consumos de energía como combustibles en un 62% y los consumos de energía eléctrica suben en 55%, lo que hace que esta área aumente su participación en el consumo total de energía del sector de un 30% el 2001 a un 40% en el año 2009. La concentradora baja ligeramente su participación en el consumo total de energía sectorial a un 23%. La

---

<sup>20</sup> BAU: Business as usual. Estimación realizada en condiciones normales de operación de una faena o sector.

fundición baja a 9% 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 al uso de energía, en los años considerados en el estudio (2001 - 2009), la producción de una tonelada de cobre fino, a nivel país, en la forma de cátodo electrorefinado (ER), tuvo una demanda unitaria de energía variable entre 24,4 GJ y 31,3 GJ, dependiendo del año. Para el caso de los cátodos electroobtenidos (EO) esta demanda unitaria varió entre 20,4 GJ y 28,0 GJ.

El concentrado de cobre también es un producto comercial relevante para el país, ya que en el año 2009 un 33% del cobre fino exportado (1,754 millones de TM) salió como concentrados. La producción de concentrados de cobre de Chile se distribuye aproximadamente en un 54% asociada a la matriz energética del SING y un 46% 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, 16,0 Gigajoule/TMF en concentrados para el SING y 17,7 para el SIC en el año 2009.

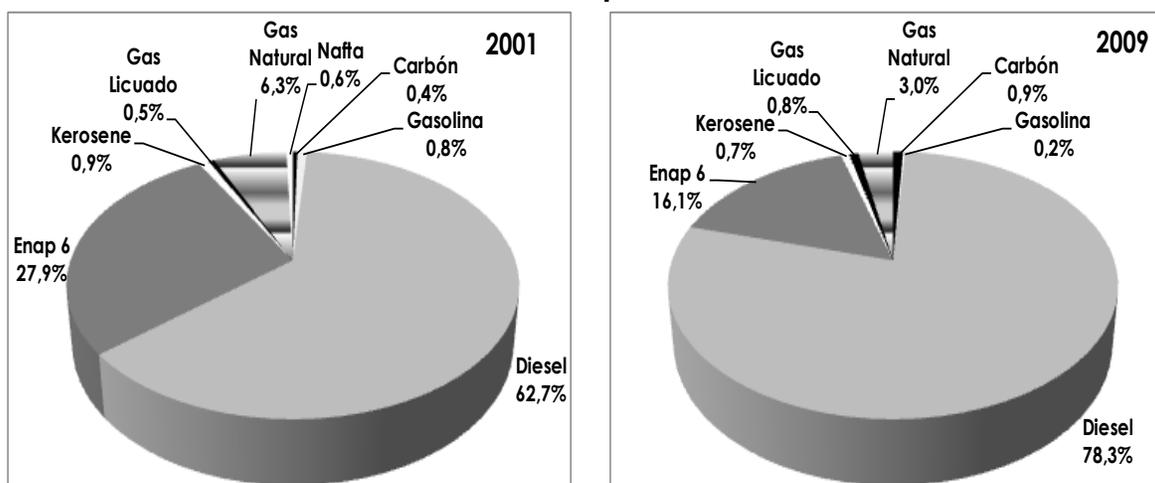
En el ámbito del consumo de energía como combustibles, la explotación minera, que en el año 2001 consumía el 57 % de los combustibles utilizados por la minería, fue incrementando su participación hasta alcanzar el 73% en el año 2009. Lo anterior se debe fundamentalmente a que las nuevas minas que han 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 con algunas fluctuaciones ha mantenido su participación en torno al 44%.

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 2009 del consumo total de energía un 51,5% corresponde a energía eléctrica y un 48,5% a una variada gama de combustibles.

Los principales combustibles consumidos directamente por la minería del cobre en el año 2009 son: petróleo Diesel (78,3%), Enap 6 (16,1%) y Gas Natural (3%), siendo marginal la participación de los otros combustibles (carbón, kerosene, gas licuado y gasolinas).

**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

Por otra parte, en el año 2001 un 9% de los combustibles consumidos, principalmente fuel oil, se destinó a autogeneración eléctrica, cifra que baja a 5% en el 2009. Del orden del 30% del consumo total de fuel oil de la minería del cobre se utiliza en autogeneración.

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 2001-2008<sup>21</sup> fue de un 10,8%, alcanzando en este último año un valor de 11,4%. Por tipo de energía, las empresas del sector consumieron en el año 2008 un 32,2% del total de la energía eléctrica consumida por el país y sólo un 6,6% del total de combustibles.

### **Emisiones**

Las emisiones unitarias totales de GEI también experimentan un aumento de 72%, en particular en los últimos 4 años (54%), alcanzando en el 2009 un valor de 3,22 TM CO<sub>2</sub> 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 116%, debido al incremento de los coeficientes unitarios de emisión de ambos sistemas de generación (en el año 2009 se reducen en 0,2% por este mismo factor).

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

---

<sup>21</sup> No es posible entregar cifras para el año 2009, debido a que la Comisión Nacional de Energía publica el Balance Nacional de Energía recién en el mes de agosto.

exactamente el perfil del factor de emisión del respectivo sistema interconectado. (Ver Figuras N°s 7, 8 y 9)

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) variable entre 2,4 y 4,1 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. Por su parte, la carga unitaria de emisión (CUE) del cátodo electroobtenido varió entre 2,5 y 4,2 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

Las CUEs de los concentrados difieren sustancialmente dependiendo del sistema de generación que abastece la faena, siendo las de los concentrados SING entre 1,5 y 2,4 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 (aproximadamente 70%), 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 2009 se produjeron 1,07 millones de TMF de cátodos electro-refinados (ER) y 2,11 millones de TMF de cátodos electro-obtenidos (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 5% más de energía que la producción de uno EO (28,5 versus 27,0 Gigajoule, respectivamente), emitió un 19,7% menos de GEI (3,3 versus 3,95 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, respectivamente).

Es decir, la comparación de cátodos ER y EO, en el caso particular de la minería del cobre en Chile y sus matrices asociadas de generación eléctrica, 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 y que en el mediano plazo Chile también tendrá que contribuir al esfuerzo de reducción de emisiones, 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, ya que los dos sistemas de generación que abastecen a la minería del cobre, con algunas fluctuaciones, muestran una tendencia creciente de 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.

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 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.

## 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)
- Minera Cerro Dominador S.A.
  - Planta Santa Margarita
  - Planta Callejas Zamora
- Minera Valle Central

**ANEXO II**  
**COEFICIENTES UNITARIOS DE CONSUMO DE ENERGIA**

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

	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>Mina Rajo</b> (MJ / TMF en mineral)	4.307,9	4.595,0	4.446,4	4.442,4	4.196,4	4.465,0	5.119,6	5.634,4	6.764,3
<b>Mina Subterránea</b> (MJ / TMF en mineral)	947,0	1.069,7	1.129,0	1.000,6	1.333,1	1.563,9	1.808,5	1.297,6	1.530,1
<b>Mina (1)</b> (MJ / TMF en mineral)	3.808,4	4.076,9	3.964,4	3.932,9	3.799,9	4.084,6	4.702,9	5.186,4	6.155,9
<b>Concentradora</b> (MJ / TMF en concentrado)	200,4	188,8	203,4	176,2	215,8	185,4	188,6	233,4	238,6
<b>Fundición</b> (MJ / TMF en ánodos)	6.063,7	5.275,1	5.087,8	4.699,8	4.965,3	4.827,9	4.964,9	5.170,3	4.531,4
<b>Refinería</b> (MJ / TMF en cátodos ER)	1.284,2	1.378,4	1.401,7	1.475,2	1.751,7	1.603,7	1.504,0	1.195,1	1.097,3
<b>LX / SX / EW</b> (MJ / TMF en cátodos SX-EW)	2.278,9	2.329,4	2.620,6	2.669,1	2.905,5	2.893,8	3.094,6	3.080,1	3.003,1
<b>Servicios</b> (MJ / TMF total producido)	357,7	377,0	510,8	318,6	278,3	280,0	266,1	256,7	366,9

(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)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Mina Rajo</b> (MJ / TM mineral extraído)	44,2	44,0	41,4	43,2	38,1	41,7	47,5	46,6	47,3
<b>Mina Subterránea</b> (MJ / TM mineral extraído)	10,6	11,5	12,0	10,6	13,9	15,8	18,2	12,8	14,6
<b>Mina (1)</b> (MJ / TM mineral extraído)	39,6	39,8	37,6	38,8	35,1	38,6	44,1	43,6	44,2
<b>Concentradora</b> (MJ / TM mineral procesado)	2,1	1,8	1,9	1,7	1,9	1,6	1,5	2,0	1,9
<b>Fundición</b> (MJ / TM concentrado procesado)	2.045,9	1.751,7	1.684,6	1.533,9	1.603,8	1.549,5	1.563,8	1.607,8	1.440,1
<b>LX / SX / EW</b> (MJ /TM mineral tratado)	16,4	15,7	15,7	16,2	14,9	14,8	14,7	12,2	13,2

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

	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>Mina Rajo</b> (MJ / TMF en mineral)	445,0	485,5	544,2	585,6	639,7	614,3	619,9	654,8	731,5
<b>Mina Subterránea</b> (MJ / TMF en mineral)	1.248,3	1.337,3	1.394,5	1.257,9	1.558,5	1.693,5	1.692,3	2.099,4	1.971,5
<b>Mina (1)</b> (MJ / TMF en mineral)	570,4	618,3	673,5	689,1	770,0	758,5	757,3	808,2	878,1
<b>Concentradora</b> (MJ / TMF en concentrado)	6.111,8	6.881,7	7.135,3	6.942,7	7.240,9	7.424,6	7.862,7	8.208,5	9.055,5
<b>Fundición</b> (MJ / TMF en ánodos)	3.494,1	3.694,0	3.792,0	3.836,2	3.771,7	3.778,7	3.887,1	3.692,1	3.531,9
<b>Refinería</b> (MJ / TMF en cátodos ER)	1.245,4	1.243,4	1.238,1	1.276,8	1.269,9	1.233,4	1.221,2	1.285,1	1.254,8
<b>LX / SX / EW</b> (MJ / TMF en cátodos SX-EW)	9.542,5	9.974,0	10.221,9	10.429,0	10.082,3	10.128,7	10.479,6	10.702,3	10.295,8
<b>Servicios</b> (MJ / TMF total producido)	524,8	556,0	500,3	515,9	576,1	502,5	443,2	558,0	615,4

(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**  
**Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía Eléctrica por Áreas**  
 (por tonelada de mineral extraído o tratado)

	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>Mina Rajo</b> (MJ / TMF en mineral)	4,6	4,6	5,2	5,8	5,9	5,8	5,8	5,4	5,3
<b>Mina Subterránea</b> (MJ / TMF en mineral)	14,0	14,4	14,9	13,3	16,2	17,1	17,1	20,7	18,8
<b>Mina (1)</b> (MJ / TMF en mineral)	6,0	6,0	6,5	6,9	7,2	7,2	7,2	6,8	6,6
<b>Concentradora</b> (MJ / TMF en concentrado)	67,2	69,6	71,5	70,0	69,9	72,0	73,6	76,8	73,4
<b>Fundición</b> (MJ / TMF en ánodos)	1.143,3	1.204,7	1.221,1	1.219,0	1.282,4	1.178,9	1.207,2	1.229,4	1.112,3
<b>LX / SX / EW</b> (MJ / TMF en cátodos SX-EW)	64,5	62,6	61,0	61,2	51,7	51,7	49,6	42,5	45,1

(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)**

	<b>Unidades</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>Mina Rajo SING</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF mineral	0,38	0,40	0,41	0,40	0,42	0,45	0,50	0,55	0,64
<b>Mina Rajo SIC</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF mineral	0,31	0,32	0,33	0,34	0,42	0,47	0,54	0,57	0,65
<b>Mina Rajo PP</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF mineral	0,37	0,38	0,39	0,38	0,42	0,45	0,51	0,55	0,65
<b>Mina Subterránea SING</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF mineral	0,81	0,65	0,52	0,52	-	-	1,13	-	0,95
<b>Mina Subterránea SIC</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF mineral	0,12	0,12	0,13	0,15	0,17	0,18	0,26	0,28	0,26
<b>Mina Subterránea PP</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF mineral	0,13	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18	0,28	0,28	0,28
<b>Concentradora SING</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF concentrado	0,93	1,11	1,11	1,17	1,19	1,38	1,65	1,93	1,90
<b>Concentradora SIC</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF concentrado	0,42	0,43	0,45	0,61	0,57	0,56	1,06	0,99	0,92
<b>Concentradora PP</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF concentrado	0,70	0,78	0,80	0,92	0,92	1,04	1,40	1,50	1,46
<b>Fundición SING</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF ánodo	0,97	1,05	0,95	1,09	1,06	1,27	1,44	1,64	1,17
<b>Fundición SIC</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF ánodo	0,68	0,59	0,58	0,57	0,55	0,51	0,72	0,69	0,67
<b>Fundición PP</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF ánodo	0,80	0,78	0,73	0,78	0,76	0,82	1,02	1,07	0,90
<b>Refinería SING</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF cátodo ER	0,33	0,36	0,32	0,34	0,35	0,36	0,39	0,44	0,40
<b>Refinería SIC</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF cátodo ER	0,13	0,12	0,13	0,15	0,17	0,15	0,22	0,19	0,18
<b>Refinería PP</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF cátodo ER	0,25	0,26	0,24	0,26	0,27	0,25	0,31	0,31	0,29
<b>LX-SX-EW SING</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF cátodo EO	1,82	2,05	1,90	2,18	2,06	2,37	2,81	2,98	2,78
<b>LX-SX-EW SIC</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF cátodo EO	0,77	0,71	0,76	0,97	0,86	0,87	1,38	1,33	1,13
<b>LX-SX-EW PP</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF cátodo EO	1,74	1,94	1,80	2,06	1,91	2,21	2,67	2,81	2,62
<b>Servicios SING</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF total producido	0,17	0,16	0,14	0,13	0,13	0,14	0,13	0,25	0,27
<b>Servicios SIC</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF total producido	0,04	0,05	0,05	0,06	0,04	0,03	0,06	0,05	0,06
<b>Servicios PP</b>	TM CO <sub>2</sub> eq. /TMF total producido	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,17	0,19

**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 2009**

	<b>Unidades</b>	<b>SING</b>	<b>SIC</b>	<b>Promedio Ponderado País</b>
<b>DUE Concentrados</b>	GJ/TMF en concentrados	16,0	17,7	16,7
<b>DUE Ánodos</b>	GJ/TMF en ánodos	24,8	26,1	25,5
<b>DUE Cátodos ER</b>	GJ/TMF en cátodos ER	27,8	29,3	28,5
<b>DUE Cátodos EO</b>	GJ/TMF en cátodos EO	26,6	30,4	27,0

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

**Tabla N° 3**  
**Valores de CUEs para Productos Comerciales de Cobre**  
**Año 2009**

	<b>Unidades</b>	<b>SING</b>	<b>SIC</b>	<b>Promedio Ponderado País</b>
<b>CUE Concentrados</b>	TM CO <sub>2</sub> eq./TMF en concentrados	2,81	1,40	2,18
<b>CUE Ánodos</b>	TM CO <sub>2</sub> eq./TMF en ánodos	4,09	2,15	3,04
<b>CUE Cátodos ER</b>	TM CO <sub>2</sub> eq./TMF en cátodos ER	4,12	2,42	3,30
<b>CUE Cátodos EO</b>	TM CO <sub>2</sub> eq./TMF en cátodos EO	4,10	2,38	3,94

Fuente: Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre

**Este trabajo fue elaborado por:**

**Sara Inés Pimentel Hunt**

**AGOSTO 2010**