



**COMISIÓN CHILENA DEL COBRE**  
**Dirección de Estudios y Políticas Públicas**

**CONSUMO DE ENERGIA Y  
EMISIONES DE GASES DE  
EFECTO INVERNADERO  
ASOCIADAS A LA  
MINERÍA DEL COBRE, 2010**

**DE/08/2011**

Registro de Propiedad Intelectual

© N° 212608

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| GLOSARIO .....   | 3  |
| I. INTRODUCCION .....  | 4  |
| II. METODOLOGIA.....   | 6  |
| 2.1 Consumo de Energía.....                                      | 6  |
| 2.2 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.....                | 6  |
| 2.2.1 Cálculo Emisiones Directas.....                            | 7  |
| III. PRINCIPALES RESULTADOS DE ENERGIA.....                      | 9  |
| 3.1 Consumos Totales de Energía .....                            | 9  |
| 3.2 Consumos unitarios .....                                     | 10 |
| 3.3 Consumos de Energía por Área de Producción.....              | 11 |
| 3.4 Comentarios sobre el Consumo de Energía .....                | 13 |
| IV. PRINCIPALES RESULTADOS EMISIONES GASES DE EFECTO INVERNADERO | 16 |
| ANEXO I .....  | 19 |
| ANEXO II .....   | 20 |

## GLOSARIO

**CH<sub>4</sub>**: Metano

**CO<sub>2</sub>**: Dióxido de Carbono

**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

**N<sub>2</sub>O**: Óxido nitroso

**SX**: Extracción por Solvente

**TJ**: Terajoule =  $10^{12}$  Joule

**TM**: Tonelada Métrica

**TMF**: Tonelada Métrica de Cobre Fino

## I. INTRODUCCION

La primera parte de este estudio es una actualización al año 2010 de versiones anteriores de estudios realizados por la Comisión Chilena del Cobre desde el año 1995, sobre consumos de energía en la minería del cobre de Chile, los que pueden ser consultados en la página web de COCHILCO [www.cochilco.cl](http://www.cochilco.cl).

La segunda parte de este trabajo corresponde a una actualización al año 2010 de las emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEI) en la minería del cobre de Chile.

En el contexto de los compromisos adquiridos por el país en materia de Cambio Climático, se requiere generar información actualizada respecto de las emisiones de GEI de los distintos sectores productivos. El sector minería cobre ha sido líder en esta materia, aportando desde hace varios años los antecedentes respecto de las emisiones del sector. Este inventario de emisiones de GEI constituye además un compromiso del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012.

En el presente estudio se analiza la evolución de los consumos energéticos, combustibles y energía eléctrica, así como las emisiones directas de gases de efecto invernadero del sector minería del cobre, para el período comprendido entre los años 2001 y 2010, teniendo así una visión completa de la evolución en la década.

A diferencia de los estudios anteriores de COCHILCO sobre la materia, en el presente estudio se analizan solamente las emisiones directas, es decir las emisiones de GEI provenientes del uso directo en procesos de combustibles fósiles en el sector minero. Esta decisión se fundamenta en que, sólo este tipo de emisiones se generan en la actividad minera propiamente tal, mientras que las emisiones generadas para el abastecimiento eléctrico externo de la minería del cobre corresponden a la actividad de generación eléctrica lo que a nivel internacional (IPCC<sup>1</sup>) se contabiliza como emisiones indirectas. Estas emisiones indirectas dependen, en el caso particular de Chile, de las configuraciones de los sistemas eléctricos SIC y SING, es decir de la matriz energética que abastece y donde las empresas mineras no pueden influir en las decisiones de política energética.

Tal como lo establece la metodología IPCC, este inventario de emisiones de GEI calculará las emisiones directas del sector minero, mientras que las provenientes de la generación de energía eléctrica deben ser calculadas como parte del sector productor de energía.

Por lo tanto, los objetivos de este informe son:

- Proveer de información actualizada, que permita visualizar la forma en que van evolucionando a través de los años los consumos energéticos

---

<sup>1</sup> IPCC: Internacional Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental de Cambio Climático)

del sector, producto de cambios tecnológicos, cambios en la cartera de productos comerciales u otros factores,

- Contar con un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero actualizado y desagregado por las distintas líneas de producción de la minería del cobre, que permita adoptar decisiones respecto de uso eficiente de combustibles y reducción de emisiones directas de GEI.

Los resultados de este estudio han sido posibles gracias a la amplia colaboración de las empresas que entregaron sus antecedentes para la elaboración de este trabajo<sup>2</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>2</sup> ANEXO N° 1: Faenas Mineras incluidas en el Estudio.

## **II. METODOLOGIA<sup>3</sup>**

### **2.1 Consumo de Energía**

Se ha utilizado la misma metodología que en las versiones anteriores de este trabajo, partiendo por una conceptualización del proceso de obtención del cobre a través de la definición de áreas, etapas y procesos (mina, concentradora, fundición, refinería, lixiviación-extracción por solventes-electroobtención, y servicios) 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 al año 2010 representan el 98% 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.

### **2.2 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero**

En el ámbito de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el énfasis de este estudio está en generar información respecto de las emisiones directas de GEI de la minería del cobre en Chile en sus áreas de procesos y las totales a nivel país.

Para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de cada tipo de combustible, se usó el correspondiente factor de emisión del combustible y la fracción de carbono oxidado, datos publicados por el IPCC en las "Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Workbook (Volume 2)".

Para calcular las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O asociadas al uso directo de cada tipo de combustible, se utilizaron los factores de emisión publicados por el IPCC, que son función del combustible y del tipo de uso que se le ha dado al combustible.

A pesar que las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O son menores que las emisiones de CO<sub>2</sub>, su potencial de calentamiento global por unidad de masa es mayor.

---

<sup>3</sup> Los detalles de la metodología aplicada se pueden ver en "Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía de la Minería del Cobre 1995 - 2004" y "Emisiones de gases de efecto invernadero de la minería del cobre de Chile 2006". [www.cochilco.cl](http://www.cochilco.cl)

### 2.2.1 Cálculo Emisiones Directas

Para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de cada tipo de combustible, Gf, se usó la siguiente fórmula:

$$Gf = Ef * Eff * FOC * (44/12)$$

Donde:

Gf = emisiones de carbono [TM CO<sub>2</sub> equivalente]

Ef = energía calculada para ese consumo de combustible [TJ];

Eff = factor de emisión del combustible [TM C/TJ];

FOC = fracción de carbono oxidado; y

(44/12) = relación entre los pesos moleculares del CO<sub>2</sub> y el carbono.

Los valores usados para Eff y FOC se muestran en la siguiente tabla

**Cuadro N° 1**  
**Factores de Emisión de Carbono y Fracción de Carbono Oxidado**  
**por Tipo de Combustible**

| Tipo de Combustible  | Factor de Emisión<br>Eff<br>(TM C/TJ) | Fracción de<br>carbono oxidado<br>FOC |
|----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Diesel               | 20,2                                  | 0,99                                  |
| Kerosene             | 19,6                                  | 0,99                                  |
| Petróleo combustible | 21,1                                  | 0,99                                  |
| Nafta                | 20,0                                  | 0,99                                  |
| Gasolina             | 18,9                                  | 0,99                                  |
| Gas Licuado          | 17,2                                  | 0,995                                 |
| Gas Natural          | 15,3                                  | 0,995                                 |
| Carbón               | 25,8                                  | 0,98                                  |
| Leña                 | 29,9                                  | 0,98                                  |

Fuente: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Workbook (Volume 2), Table 1 - 2 y Table 1 - 4.

Para calcular las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O asociadas al uso directo de cada tipo de combustible, en la siguiente fórmula general se utilizaron factores de emisión que son función del combustible y del tipo de uso que se le ha dado al combustible:

$$\text{Emisión CH}_4 = Ef * \text{Factor de Emisión CH}_4 * 21/1000$$

$$\text{Emisión N}_2\text{O} = Ef * \text{Factor de Emisión N}_2\text{O} * 310/1000$$

Donde

Emisión CH<sub>4</sub> = Emisiones de CH<sub>4</sub> expresadas como emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente [TM CO<sub>2</sub> equivalente];

Emisión N<sub>2</sub>O = Emisiones de N<sub>2</sub>O expresadas como emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente [TM CO<sub>2</sub> equivalente];

A pesar que las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O son menores que las emisiones de CO<sub>2</sub>, su potencial de calentamiento global por unidad de masa es mayor. Así, en el caso del metano el potencial de calentamiento global por unidad de masa es 21 veces mayor que en el caso del CO<sub>2</sub> y en el caso del N<sub>2</sub>O es 310 veces mayor, por lo que para expresarlas como emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente, se multiplican por estos factores.

**Cuadro N° 2**  
**Factores de Emisión de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O por tipo de combustible y uso**

| Tipo de Combustible  | Uso                | Factor de Emisión (Kg/TJ) |                  |
|----------------------|--------------------|---------------------------|------------------|
|                      |                    | CH <sub>4</sub>           | N <sub>2</sub> O |
| Diesel               | Vehículos pesados  | 4                         | 2                |
| Gasolina             | Vehículos livianos | 7,5                       | 43               |
| Petróleo             | Secadores          | 1                         | 0,6              |
| Diesel               | Caldera Industrial | 0,2                       | 0,4              |
| Petróleo combustible | Caldera Industrial | 3                         | 0,3              |
| Kerosene             | Servicios          | 2                         | 0,6              |
| Gas Licuado          | Servicios          | 2                         | 0,6              |
| Gas Natural          | Caldera            | 1,4                       | 0,1              |
| Gas Natural          | Secadores          | 1,1                       | 0,1              |
| Carbón               | Caldera            | 1                         | 1,6              |
| Leña                 |                    | 30                        | 4                |

Fuente: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Reference Manual (Volume 3), Tables 1 - 7; 1 - 8; 1 - 15; 1 - 16; 1 - 17; 1 - 27; y 1 - 32.

### III. PRINCIPALES RESULTADOS DE ENERGIA

#### 3.1 Consumos Totales de Energía

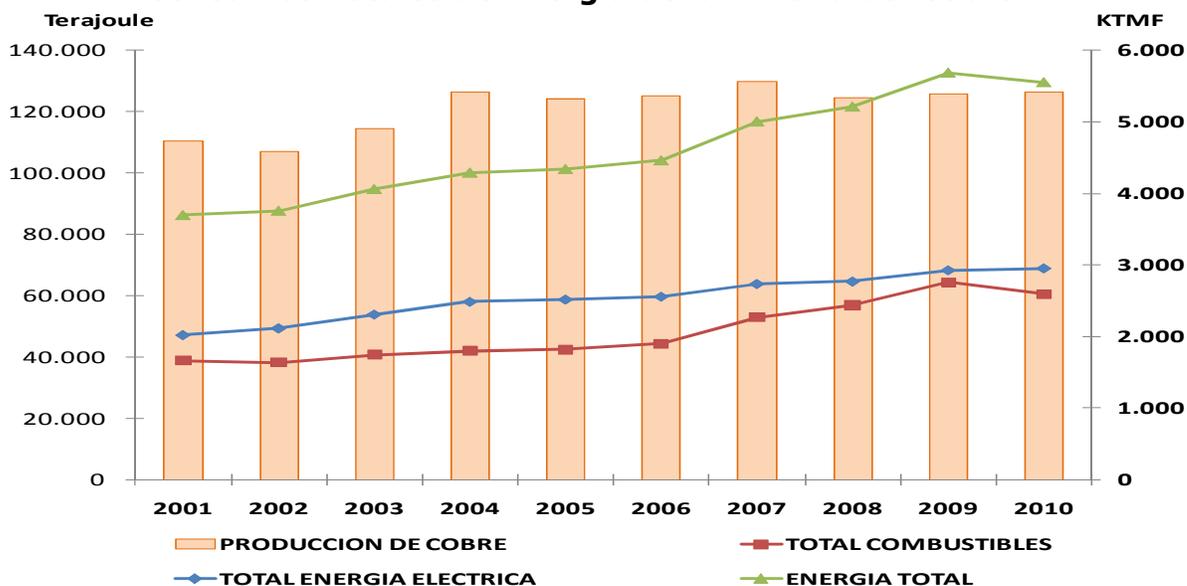
El consumo de energía informado por las compañías mineras del cobre pasó de 86.234 Terajoule el año 2001 a 129.583 Terajoule el año 2010 incrementándose así en un 50%, mientras que la producción total de cobre aumento un 14% de 4,74 millones de toneladas a 5,42 millones de toneladas el período, tal como lo muestra el siguiente cuadro N°3:

**Cuadro N°3: Consumos Totales de Energía de la Minería del Cobre**

|                                 | 2001   | 2002   | 2003   | 2004    | 2005    | 2006    | 2007    | 2008    | 2009    | 2010    |
|---------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| TOTAL COMBUSTIBLES (TJ)         | 38.962 | 38.251 | 40.841 | 42.031  | 42.468  | 44.346  | 52.939  | 56.993  | 64.402  | 60.637  |
| TOTAL ENERGIA ELECTRICA (TJ)    | 47.272 | 49.454 | 53.945 | 58.082  | 58.831  | 59.744  | 63.854  | 64.653  | 68.318  | 68.947  |
| TOTAL ENERGIA (TJ)              | 86.234 | 87.705 | 94.786 | 100.114 | 101.299 | 104.091 | 116.794 | 121.646 | 132.720 | 129.583 |
| PRODUCCION DE COBRE (miles TMF) | 4.739  | 4.581  | 4.904  | 5.413   | 5.321   | 5.361   | 5.557   | 5.330   | 5.390   | 5.419   |

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

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



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

La energía consumida como combustibles se incrementó entre 2001 y 2010 en un 56%, mientras que el consumo de energía eléctrica lo hizo en 46%.

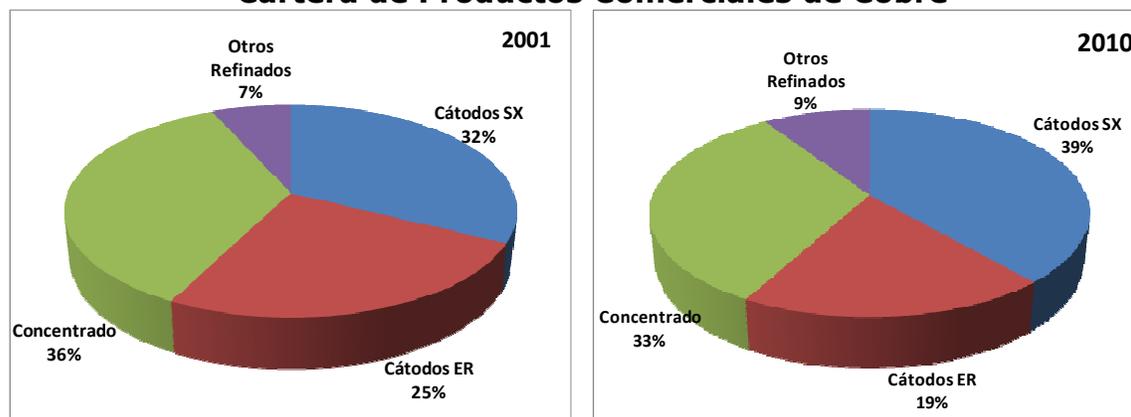
Se observa además que en el año 2010 respecto al año 2009, hay una disminución en el consumo global de energía debido fundamentalmente a un menor consumo de combustibles el que baja en un 6%, en cambio el consumo de energía eléctrica prácticamente se mantiene igual al del año anterior, tanto en términos unitarios como totales.

El aumento que ha experimentado la intensidad de uso de energía en esta década se explica 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, experimentó un aumento en la intensidad de uso de energía, tendencia que en el último año pareciera estarse revirtiendo, producto de las medidas que están siendo adoptadas por las empresas.

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

Por último, como se puede observar en Figura N°2 los cambios en la cartera de productos comerciales de cobre hacia productos más refinados, esto es, el crecimiento en la producción de cátodos EO también contribuye a una mayor intensidad de uso de energía en esta década.<sup>4</sup>

**Figura N° 2**  
**Cartera de Productos Comerciales de Cobre**



**Fuente:** Elaborado por la Comisión Chilena del Cobre.

### 3.2 Consumos unitarios

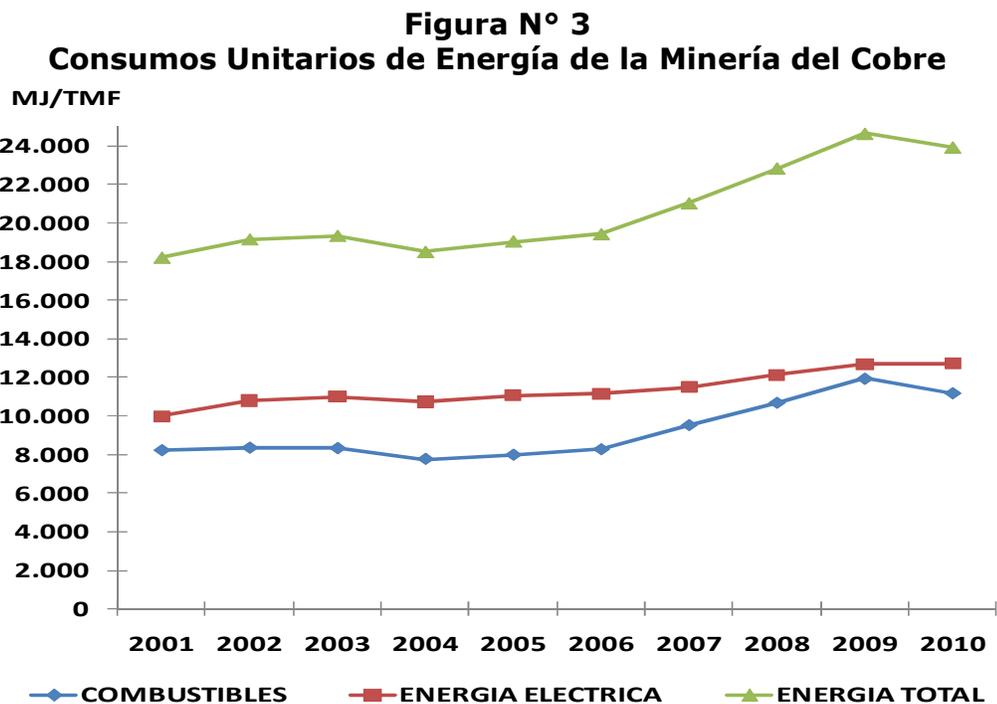
En el año 2010, el consumo total de energía del sector minería del cobre disminuyó en un 2,4 % respecto al año 2009. Lo anterior significó que los

<sup>4</sup> Detalles ver Tabla N°2 en Anexo II

coeficientes unitarios<sup>5</sup> de consumo de energía total disminuyeran en el último año en casi un 3%, resultando un valor promedio de 23.913 MJ/TMF.

En relación a los coeficientes unitarios de energía, en Figura N°3 tomando como año base para el análisis el año 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 10 años en un 31,4%, lo que representa una tasa anual de crecimiento de 3,1%.

Los coeficientes unitarios globales de consumo de energía se mantienen relativamente estables los primeros 6 años de la década, pero a contar del 2007 hasta el 2009 experimentan un fuerte crecimiento, impulsados principalmente por el incremento en los consumos unitarios de combustibles.



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

Cabe señalar, que la minería del cobre en el año 2010 redujo su consumo de energía tanto en términos absolutos como unitarios, en particular en combustibles y con una cartera de productos que no varió prácticamente nada, lo que estaría indicando una mayor eficiencia en el uso de la energía.

### 3.3 Consumos de Energía por Área de Producción

Al analizar la participación en el consumo total de energía de cada una de las áreas definidas del proceso de producción<sup>6</sup>, se observa que el área más consumidora de energía es la explotación minera (38%), seguida por la

<sup>5</sup> Consumo Unitario: energía consumida para producir una unidad de producto (1 tonelada de cobre fino contenido).

<sup>6</sup> Mina rajo y subterránea, Concentradora, Fundición, Refinería Electrolítica, Tratamiento de Minerales Lixiviables y Servicios a la producción.

concentradora (24%). Es importante destacar que, mientras la explotación minera consume un 89% de su consumo total como combustibles, el consumo de energía del área de concentración de minerales es, en la práctica, casi exclusivamente energía eléctrica (98%). En el período 2001-2010, los consumos de energía como combustibles en la mina se incrementaron en 92% y en un 90% en el área hidrometalúrgica, mientras que el consumo de energía eléctrica en la mina también aumentó en 74% (uso de correas transportadoras), en la concentradora aumentó en 50% y en área de LX-SX-EW se incrementó en un 51%.

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 2010 disminuyó su participación relativa en el consumo total de energía del sector desde un 31,5% a un 10%, no obstante que la producción del área, con algunas fluctuaciones, se incrementó en promedio en el período en un 21%. 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 71% en el año 2010. 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.

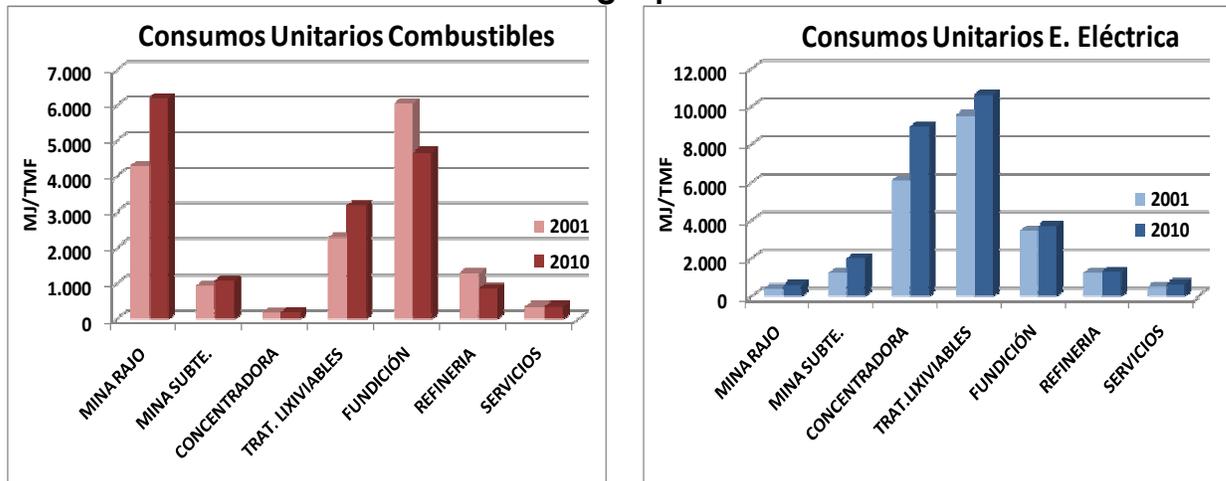
Al analizar el consumo de energía eléctrica de la minería del cobre, destaca el hecho que la concentración de minerales sulfurados consume casi la mitad del total de la energía eléctrica consumida por el sector, con valores en torno a 45,9% como promedio del período de 10 años.

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 2010 fluctúa alrededor del 21,6%. Esto se debe al incremento en la producción de cobre a partir de este tipo de minerales en las últimas décadas. 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 2010, mientras que en el consumo de combustibles llega sólo a un 11%.

En Figura N°4 se muestra que en el período 2001-2010 los coeficientes unitarios de consumo total de energía se incrementan en cada una de las

áreas de producción exceptuando fundición y refinería electrolítica. En particular, para el período analizado los coeficientes unitarios de consumo de combustibles y energía eléctrica<sup>7</sup> aumentan en todas las áreas, en particular, mina y concentradora en más de 40%.

**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.

### 3.4 Comentarios sobre el Consumo de Energía

El sector minería del cobre en los 10 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.

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 (37 faenas incluidas en el estudio), el que aumenta entre el 2001 y el 2010 en un 31%, llegando a un valor de 23,9 GigaJoule/TMF producido. Los resultados anteriores, se explican por factores sumados a los ya descritos, tales como cambios en la cartera de productos comerciales y cambios tecnológicos, están indicando que el sector minería del cobre, en los últimos 10 años, ha experimentado un aumento en la intensidad de uso de energía a una tasa promedio anual de 3,5%.

En el período considerado en el estudio (2001-2010), la mina incrementa los consumos de energía como combustibles en un 49% y los consumos de energía eléctrica suben en 35%, lo que hace que esta área aumente su

<sup>7</sup> Ver Tablas N° 3-6 Anexo II

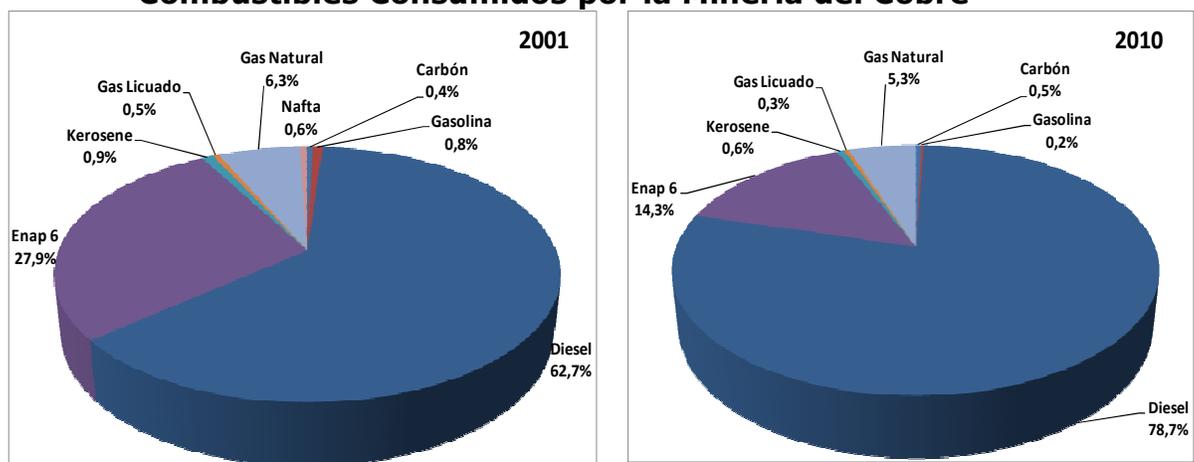
participación en el consumo total de energía del sector de un 30% el 2001 a un 38% en el año 2010. La concentradora baja ligeramente su participación en el consumo total de energía sectorial a un 24%. La fundición baja a 10% y el tratamiento de minerales lixiviables mantiene su participación en un 22%.

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 71% en el año 2010, las razones que explican este aumento se han detallado reiteradamente en el cuerpo del documento.

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%.

En Figura N° 5 se muestran los principales combustibles consumidos directamente por la minería del cobre en el año 2010 son: petróleo Diesel (78,7%), Enap 6 (14,3%) y Gas Natural (5,3%), siendo marginal la participación de los otros combustibles (carbón, kerosene, butano, gas licuado y gasolinas).<sup>8</sup>

**Figura N° 5**  
**Combustibles Consumidos por la Minería del Cobre**



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

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 5% en los últimos 10 años principalmente por las bajas en las leyes de los minerales producto del envejecimiento de las minas.

<sup>8</sup> Detalles ver Tabla N°7 en Anexo II.

La participación promedio de la minería del cobre en el consumo total final de energía del país en año 2010<sup>9</sup> fue de un 9%. Por tipo de energía, las empresas del sector consumieron en el año 2010 un 33% del total de la energía eléctrica consumida por el país y sólo un 7% del total de combustibles.

---

<sup>9</sup> Cálculos hechos en base al Balance Nacional de Energía 2010 publicado por el Ministerio de Energía.

#### IV. PRINCIPALES RESULTADOS EMISIONES GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

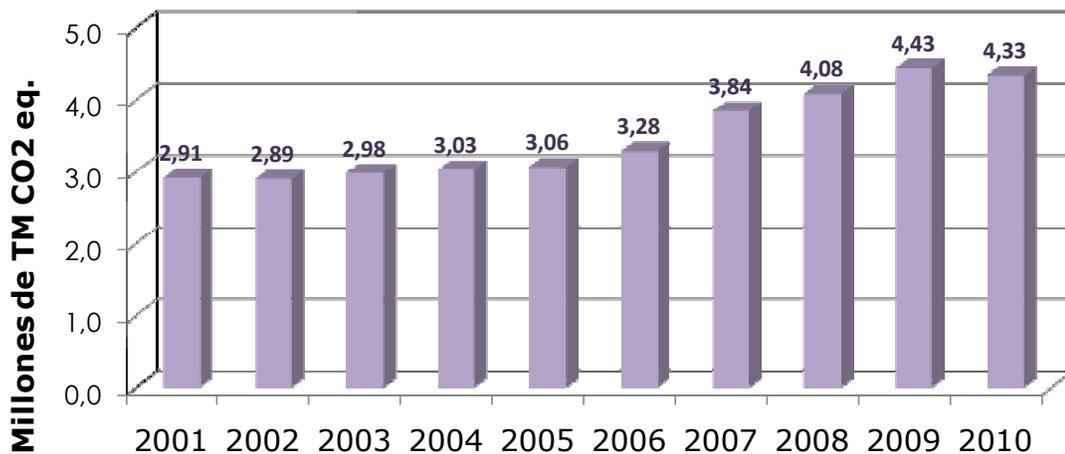
Este inventario contiene las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, y N<sub>2</sub>O, puesto que éstos son los GEI relevantes para el caso de la minería del cobre.

A diferencia de años anteriores, en esta oportunidad por una decisión institucional, se ha optado por calcular solamente las emisiones directas de GEI que corresponden a aquellas generadas por la combustión de combustibles fósiles (petróleo, nafta, carbón, gas natural) en las faenas mineras o el usado en transporte por los vehículos de dichas operaciones.

El estudio incluye todos los procesos mineros, desde la extracción del mineral hasta la producción de los concentrados y cátodos de cobre. Se analiza el período 2001-2010 para así tener una visión de la década y ver la evolución de las emisiones directas de GEI de la minería del cobre chilena.

La Figura N°6 muestra las emisiones directas de gases de efecto invernadero, medidas en términos de CO<sub>2</sub> equivalente, que ha generado el sector minero del cobre en el período 2001-2010, producto de la utilización directa de combustibles en sus faenas. Se observa que hay un aumento de emisiones GEI directas de 2,91 a 4,33 millones de TM CO<sub>2</sub> equivalente, lo cual representa un incremento del 49%.

**Figura N°6**  
**Evolución de las Emisiones Directas Totales de GEI de la Minería del Cobre Chilena entre años 2001 y 2010**



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

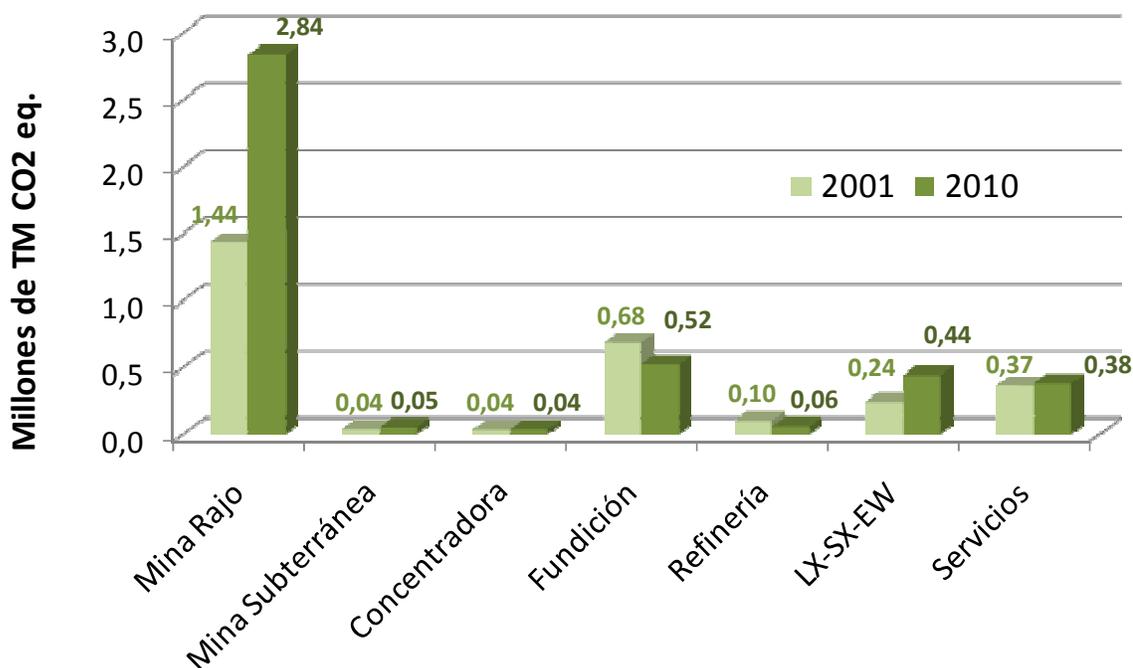
Este hecho es coherente con lo que se mencionó en sección 3.1, en el cuál se señala que la energía consumida como combustibles por parte de la minería del cobre se incrementó entre los años 2001 y 2010 en un 56%, por lo tanto al haber un incremento en el uso de combustibles hay un incremento en las emisiones de GEI respectivas. Sin embargo, si bien esta tendencia de aumento de emisiones de GEI se observa en toda la década, en el año 2010 las emisiones experimentan un leve descenso respecto del año 2009, esto se

explica principalmente porque en el año 2010 el consumo de combustibles de las faenas incluidas en el estudio es un 6% inferior al del año anterior (2009).

Desglosando los resultados anteriores por área de producción, en la Figura N°7 se puede observar la evolución en la década de las emisiones GEI directas totales por área del proceso. La principal área generadora de emisiones es la mina rajo (que es el área con uso más intensivo de combustibles) seguida de lejos por la fundición, el tratamiento de minerales lixiviables y los servicios.

Las áreas que tienen menores emisiones directas de GEI son la mina subterránea y la concentradora. Si comparamos en el área mina, la mina subterránea presenta una menor emisión de GEI que la mina rajo. Esto se explica porque la primera extrae directamente mineral - sin remover lastre o estéril - y lo hace con un método de explotación basado en el uso de la fuerza de gravedad. La minería de rajo, por su parte, debe movilizar grandes cantidades de lastre o estéril para poder acceder al mineral con ayuda de maquinaria pesada consumidora principalmente de combustibles.

**Figura N°7**  
**Comparación Emisiones Directas Totales de GEI por Área de Producción entre años 2001 y 2010**



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

En relación a la concentradora las emisiones directas de GEI son mínimas con respecto a las emisiones de otras áreas de producción, esto se debe a que el consumo de energía en esta área corresponde mayoritariamente a energía eléctrica (98%) en los procesos de conminución.

También se puede observar que en el período analizado 2001-2010 las emisiones totales de GEI aumentan, en mayor o menor medida, en todas las áreas de producción de la minería del cobre, con la sola excepción de fundición

y refinería. Es así como, en el área mina rajo las emisiones directas de GEI aumentan un 97% de 1,44 millones de TM de CO<sub>2</sub> en el año 2001 a 2,84 millones de TM de CO<sub>2</sub> en el año 2010.

El aumento de las emisiones directas de GEI en la mina rajo se debe a un incremento en el consumo de combustible, debido, por una parte, a que las nuevas minas que han entrado en operación en el período analizado son de rajo abierto y por otra, a un envejecimiento de las minas, lo cual produce una baja en las leyes de los minerales, mayor dureza de los minerales y aumento de las distancias de acarreo, todo lo cual implica un mayor uso de combustible y por tanto mayores emisiones directas de GEI.

En relación a las emisiones directas de GEI derivadas de la producción de cobre provenientes del tratamiento de minerales lixiviables por la vía hidrometalúrgica, esto es lixiviación (LX), extracción por solventes (SX) y electroobtención (EW), se observa que en la última década se han incrementado las emisiones directas de GEI en un 82%, de 0,24 a 0,44 millones de TM CO<sub>2</sub>. Si bien 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), ha habido un aumento en el consumo de combustibles en esta área de producción debido principalmente a un importante aumento en la producción de cobre a partir de minerales lixiviables en el período analizado.

En el área mina subterránea, concentradora y servicios prácticamente se mantienen las emisiones directas de GEI en el período analizado.

En las áreas de refinería y fundición se observa que disminuyen las emisiones directas de GEI en período 2001-2010. En refinería disminuyen en un 40% de 0,1 a 0,06 millones de TM de CO<sub>2</sub>, en tanto en fundición disminuyen un 23% de 0,68 en el año 2009 a 0,52 millones en el año 2010. Cabe señalar al respecto, que debido a cambios tecnológicos en el área de fusión de concentrados impulsados por el necesario cumplimiento de la normativa ambiental que indujo el cambio de los hornos reverbero por hornos de fusión autógena (Convertidor Teniente, Convertidor Noranda y Horno Flash Outokumpu), lo que involucra una reducción en el uso directo de combustibles, con la consiguiente reducción de emisiones. En el área refinería el motivo principal es la detención del horno de fusión de scrap de la refinería de Chuquicamata lo que provoca una disminución de los consumos de combustibles y el tratamiento de los materiales que allí se fundían en la fundición.

## ANEXO I

**Tabla N°1: Faenas Mineras Incluidas en el Estudio**

|  |
|--|
| CODELCO Chile <ul style="list-style-type: none"><li>○ División Codelco Norte (Chuquicamata y Radomiro Tomic)</li><li>○ División Salvador</li><li>○ División Andina</li><li>○ División Ventanas</li><li>○ División El Teniente</li></ul>  |
| 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  |
| Compañía Minera Los Pelambres  |
| Anglo American Chile Ltda. <ul style="list-style-type: none"><li>○ Mantos Blancos</li><li>○ Manto Verde</li><li>○ El Soldado</li><li>○ Los Bronces</li><li>○ Fundición Chagres</li></ul>   |
| Fundición Altonorte  |
| Empresa Nacional de Minería  |
| Planta Delta   |
| Fundición Hernán Videla Lira <ul style="list-style-type: none"><li>○ Planta Taltal</li><li>○ Planta Salado</li><li>○ Planta Matta</li><li>○ Planta Vallenar</li><li>○ Minera Las Cenizas S.A. (Planta Taltal y Planta Cabildo)</li></ul> |
| Minera Cerro Dominador S.A. <ul style="list-style-type: none"><li>○ Planta Santa Margarita</li><li>○ Planta Callejas Zamora</li></ul>  |
| Minera Valle Central   |

## ANEXO II

**Tabla N° 2**  
**Cartera de Productos Comerciales de Cobre 2001-2010**  
 (TM cobre fino contenido)

| <b>Cartera Productos</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>2010</b> |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Cátodos SX</b><br>(TMF)      | 1.538.227   | 1.601.959   | 1.653.093   | 1.636.308   | 1.584.620   | 1.691.795   | 1.832.105   | 1.973.700   | 2.112.750   | 2.088.511   |
| <b>Cátodos ER</b><br>(TMF)      | 1.187.262   | 1.115.612   | 1.107.443   | 1.050.583   | 1.077.008   | 958.184     | 985.315     | 987.676     | 1.071.268   | 1.054.900   |
| <b>Concentrado</b><br>(TMF)     | 1.697.600   | 1.539.900   | 1.708.700   | 2.258.600   | 2.177.800   | 2.103.600   | 2.210.600   | 1.987.400   | 1.754.541   | 1.770.600   |
| <b>Otros Refinados</b><br>(TMF) | 315.934     | 323.067     | 434.966     | 467.014     | 481.100     | 607.198     | 528.944     | 381.523     | 451.022     | 504.882     |
| <b>TOTAL</b><br>(TMF)           | 4.739.023   | 4.580.538   | 4.904.202   | 5.412.505   | 5.320.528   | 5.360.777   | 5.556.964   | 5.330.299   | 5.389.581   | 5.418.893   |

**Fuente:** Anuario de Estadística del Cobre y Otros Minerales 1990-2010, COCHILCO 2010.

## COEFICIENTES UNITARIOS DE CONSUMO DE ENERGIA

**Tabla N° 3**  
**Coefficientes 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>2010</b> |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Mina Rajo</b><br>(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     | 6.217,7     |
| <b>Mina Subterránea</b><br>(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     | 1.092,5     |
| <b>Mina <sup>(1)</sup></b><br>(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     | 5.705,9     |
| <b>Concentradora</b><br>(MJ / TMF en concentrado)      | 200,4       | 188,8       | 203,4       | 176,2       | 215,8       | 185,4       | 188,6       | 233,4       | 238,6       | 206,4       |
| <b>Fundición</b><br>(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     | 4.679,5     |
| <b>Refinería</b><br>(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     | 869,1       |
| <b>LX / SX / EW</b><br>(MJ / TMF en cátodos SX-<br>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     | 3.185,1     |
| <b>Servicios</b><br>(MJ / TMF total producido)         | 357,7       | 377,0       | 510,8       | 318,6       | 278,3       | 280,0       | 266,1       | 256,7       | 366,9       | 367,8       |

(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 Combustibles 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>2010</b> |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Mina Rajo</b><br>(MJ / TM mineral extraído)           | 44,2        | 44,0        | 41,4        | 43,2        | 38,1        | 41,7        | 47,5        | 46,6        | 47,3        | 48,5        |
| <b>Mina Subterránea</b><br>(MJ / TM mineral extraído)    | 10,6        | 11,5        | 12,0        | 10,6        | 13,9        | 15,8        | 18,2        | 12,8        | 14,6        | 10,4        |
| <b>Mina <sup>(1)</sup></b><br>(MJ / TM mineral extraído) | 39,6        | 39,8        | 37,6        | 38,8        | 35,1        | 38,6        | 44,1        | 43,6        | 44,2        | 45,3        |
| <b>Concentradora</b><br>(MJ / TM mineral procesado)      | 2,1         | 1,8         | 1,9         | 1,7         | 1,9         | 1,6         | 1,5         | 2,0         | 1,9         | 1,6         |
| <b>Fundición</b><br>(MJ / TM concentrado procesado)      | 2.045,<br>9 | 1.751,<br>7 | 1.684,<br>6 | 1.533,<br>9 | 1.603,<br>8 | 1.549,<br>5 | 1.563,<br>8 | 1.607,<br>8 | 1.440,<br>1 | 1.437,<br>8 |
| <b>LX / SX / EW</b><br>(MJ /TM mineral tratado)          | 16,4        | 15,7        | 15,7        | 16,2        | 14,9        | 14,8        | 14,7        | 12,2        | 13,2        | 12,3        |

(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° 5**  
**Coefficientes 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>2010</b>  |
|--|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Mina Rajo</b><br>(MJ / TMF en mineral)              | 445,0       | 485,5       | 544,2        | 585,6        | 639,7        | 614,3        | 619,9        | 654,8        | 731,5        | 627,1        |
| <b>Mina Subterránea</b><br>(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      | 2.012,9      |
| <b>Mina <sup>(1)</sup></b><br>(MJ / TMF en mineral)    | 570,4       | 618,3       | 673,5        | 689,1        | 770,0        | 758,5        | 757,3        | 808,2        | 878,1        | 772,4        |
| <b>Concentradora</b><br>(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      | 8.945,6      |
| <b>Fundición</b><br>(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      | 3.741,0      |
| <b>Refinería</b><br>(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      | 1.311,2      |
| <b>LX / SX / EW</b><br>(MJ / TMF en cátodos SX-<br>EW) | 9.542,5     | 9.974,0     | 10.221,<br>9 | 10.429,<br>0 | 10.082,<br>3 | 10.128,<br>7 | 10.479,<br>6 | 10.702,<br>3 | 10.295,<br>8 | 10.633,<br>8 |
| <b>Servicios</b><br>(MJ / TMF total producido)         | 524,8       | 556,0       | 500,3        | 515,9        | 576,1        | 502,5        | 443,2        | 558,0        | 615,4        | 679,7        |

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

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

**Tabla N° 6**  
**Coefficientes 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>2010</b> |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Mina Rajo</b><br>(MJ / TMF en mineral)              | 4,6         | 4,6         | 5,2         | 5,8         | 5,9         | 5,8         | 5,8         | 5,4         | 5,3         | 4,9         |
| <b>Mina Subterránea</b><br>(MJ / TMF en mineral)       | 14,0        | 14,4        | 14,9        | 13,3        | 16,2        | 17,1        | 17,1        | 20,7        | 18,8        | 19,2        |
| <b>Mina <sup>(1)</sup></b><br>(MJ / TMF en mineral)    | 6,0         | 6,0         | 6,5         | 6,9         | 7,2         | 7,2         | 7,2         | 6,8         | 6,6         | 6,2         |
| <b>Concentradora</b><br>(MJ / TMF en concentrado)      | 67,2        | 69,6        | 71,5        | 70,0        | 69,9        | 72,0        | 73,6        | 76,8        | 73,4        | 72,9        |
| <b>Fundición</b><br>(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     | 1143,0      |
| <b>LX / SX / EW</b><br>(MJ / TMF en cátodos SX-<br>EW) | 64,5        | 62,6        | 61,0        | 61,2        | 51,7        | 51,7        | 49,6        | 42,5        | 45,1        | 41,1        |

(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

**Tabla N° 7**  
**Combustibles Consumidos por la Minería del Cobre**  
**y su aporte energético**

| <b>TIPO<br/>COMBUSTIBLE</b>                 | <b>Unidad</b>        | <b>2001</b> | <b>2010</b> | <b>2001</b><br>TERAJOULE | <b>2010</b><br>TERAJOULE |
|---|----------------------|-------------|-------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Carbón</b>                               | <b>Kg</b>            | 5.579.296   | 9.745.561   | 163                      | 285                      |
| <b>Gasolina</b>                             | <b>m<sup>3</sup></b> | 9.810       | 3.751       | 336                      | 128                      |
| <b>Diesel</b>                               | <b>m<sup>3</sup></b> | 684.504     | 1.287.117   | 26.222                   | 49308                    |
| <b>Enap 6</b>                               | <b>TM</b>            | 266.029     | 204.353     | 11.687                   | 8978                     |
| <b>Kerosene</b>                             | <b>m<sup>3</sup></b> | 9.687       | 10.507      | 364                      | 395                      |
| <b>Gas Licuado</b>                          | <b>Kg</b>            | 3.938.628   | 4.253.932   | 199                      | 215                      |
| <b>Gas Natural</b>                          | <b>m<sup>3</sup></b> | 67.046.875  | 85.670.774  | 2.620                    | 3348                     |
| <b>Total consumo de energía (Terajoule)</b> |                      |             |             | <b>41.591</b>            | <b>62.658</b>            |

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

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

ROSSANA CRISTINA BRANTES ABARCA

VICENTE PÉREZ VIDAL  
Director de Estudios y Políticas Públicas (S)