



COMISIÓN CHILENA DEL COBRE
Dirección de Estudios y Políticas Públicas

**CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO EN LA MINERÍA DEL COBRE, 2001 - 2011**

ENCUESTA REALIZADA A LA INDUSTRIA

DE/05/2012

Registro de Propiedad Intelectual

© N°218.718

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO	4
I. INTRODUCCIÓN	6
II. METODOLOGÍA.....	7
2.1 Energía	7
2.2 Emisiones Directas de Gases de Efecto Invernadero	9
2.2.1 Cálculo Emisiones Directas	9
III. ENERGÍA.....	11
3.1 Consumos totales de energía	11
3.2 Consumos unitarios de energía	13
3.3 Consumos de energía por Área de Producción	15
IV. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	20
4.1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por Área de Producción	21
4.1.1 Área mina	21
4.1.2 Concentradora.....	22
4.1.3 Área de Tratamiento de Minerales Lixiviables	22
4.1.4 Área Refinación Electrolítica y Fundición	22
V. COMENTARIOS FINALES	24
5.1 Energía.....	24
5.2 GEI.....	25
Anexo I: Faenas mineras incluidas en el estudio.....	27
Anexo II: Tablas adicionales.....	28

Índice de Ilustraciones

Figura 1 - Proceso Productivo del Cobre en Chile	7
Figura 2 - Esquema general de energía consumida en la gran minería del cobre	7
Figura 3 - Área de Producción y sus Parámetros.....	8
Figura 4 - Distribución del Consumo Total de Energía	12
Figura 5 - Participación de la Industria del Cobre en el Consumo Energético del País	12
Figura 6 - Evolución de los Coeficientes Unitarios de Energía Total por Área de Producción	19
Figura 7 - Evolución de las Emisiones Directas Totales de GEI de la Minería del Cobre Chilena entre años 2001 y 2011	20

Índice de Tablas

Tabla 1 - Factores de Emisión de Carbono y Fracción de Carbono Oxidado por Combustible	9
Tabla 2 - Factores de Emisión de CH ₄ y N ₂ O por Tipo de Combustible y Uso	10
Tabla 3 - Consumo de Energía Total por Fuente de Energía (Petajoules) y Producción de Cobre (KTMF)	11
Tabla 4 - Variación Porcentual del Consumo de Energía Total por Fuente de Energía y Variación Porcentual de la Producción de Cu fino	11
Tabla 5 - Consumo Unitario de Energía por Fuente Energética (MJ/TMF)	13
Tabla 6 - Variación Porcentual del Consumo Unitario de Energía por Fuente Energética	13
Tabla 7 - Consumo de Energía por Fuente Energética y por Área (Terajoule).....	15
Tabla 8 - Variación Porcentual del Consumo de Energía, por Fuente Energética y por Área	16
Tabla 9 - Consumo Unitario de Energía por Cobre Fino Producido, por Fuente Energética y por Área (MJ/TMF).....	17
Tabla 10 - Variación Porcentual del Consumo Unitario de Energía por Cobre Fino producido, por Fuente Energética y por Área.....	18
Tabla 11 - Combustibles Consumidos por la Minería del Cobre	20
Tabla 12 - Consumo Combustible Diesel por Área de Producción.....	21
Tabla 13 - Emisiones de GEI por Área de Producción	21
Tabla 14 - Cobre Fino por Proceso (KTMF).....	28
Tabla 15 - Cobre Fino Comerciable (Cu fino en Concentrado y Cátodos SX-EW) (KTMF).....	28
Tabla 16 - Consumo de Energía según Balance Nacional de Energía (Teracalorías).....	28
Tabla 17 - Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía por Área (por tonelada de mineral extraído o tratado)	29
Tabla 18 - Emisiones de CO ₂ eq por Área de Producción (toneladas métricas).....	30
Tabla 19 - Variaciones Porcentuales de las Emisiones de CO ₂ eq por Área de Producción.....	30

RESUMEN EJECUTIVO

Cochilco realiza en forma anual una encuesta para conocer información respecto a producción, fuentes de abastecimiento de agua, consumo de combustibles y de energía eléctrica por área de producción, de las distintas empresas. Este año, dicha encuesta fue realizada en enero recién pasado y contestada por 34 faenas, lo que corresponde a aproximadamente un 97% del total de la producción de cobre de mina.

Este artículo resume los principales resultados obtenidos a través de dicha encuesta, los que son presentados junto a los resultados obtenidos en los últimos 11 años. De esta manera se puede obtener una mejor visión del comportamiento de estos en el tiempo.

El sector minería del cobre ha experimentado un aumento en la intensidad de uso de energía en la última década, lo que ha resultado en el consiguiente aumento de los consumos totales y unitarios de energía.

Entre los años 2001 y 2011 mientras la producción de cobre fino comerciable del país aumentó en un 11,1% (de 4,7 millones a 5,3 millones de toneladas)¹ el consumo de energía total del sector minería del cobre creció un 59,6%, de 86.234 a 137.606 Terajoule.

Esta tendencia 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, los cuales 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.

A nivel país, la participación de la minería del cobre en el consumo total final de energía del país en 2010 fue de un 9,4%. Por área de producción se observa que en el período 2001-2011 el consumo total de energía se incrementa en cada una de las áreas del proceso de producción: mina en un 117%, concentradora en 67%, tratamiento de minerales lixiviables en 56% y servicios en un 15 % exceptuando fundición y refinería electrolítica que han reducido su consumo en un 18% y 21% respectivamente.

En el año 2011 al analizar la participación en el consumo total de energía de cada una de las áreas definidas del proceso de producción, se tiene que el área más consumidora de energía es la explotación minera (40%), seguida por la concentradora (25%) y el tratamiento de minerales lixiviables (21%)

Al analizar el consumo de energía eléctrica de la minería del cobre, destaca el hecho que la concentración de minerales sulfurados consume prácticamente la mitad del total de la energía eléctrica consumida por el sector y ha mantenido su participación en torno al 45%. En período 2001-2011 el consumo de energía eléctrica en la concentradora aumentó en 69%.

En tanto el tratamiento de minerales lixiviables consume el 31% del total de la energía eléctrica consumida por el sector y en el período 2001-2011 el consumo de energía eléctrica aumentó en 53%.

¹ Datos obtenidos de la Tabla 10

El aumento en el consumo de energía eléctrica se explica por factores como el incremento en la dureza del material procesado en la concentradora, también por el incremento en la producción de cobre a partir de minerales oxidados en la última década, puesto que 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).

En el ámbito del consumo de energía como combustibles la explotación minera representa un 90% del consumo total de energía como combustibles. Para el período 2001-2011, estos consumos se incrementaron en 122% en la mina.

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.

Directamente relacionado al consumo de combustibles en el sector (diesel, gas natural, carbón otros) deriva la emisión de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Entre el 2001 y 2011 hay un aumento de emisiones directas de GEI de 2,91 a 4,40 millones de TM CO₂ equivalente, lo cual representa un incremento del 51%.

En el año 2011 la principal área generadora de emisiones es la mina rajo con un 67% del total de las emisiones del sector minero. Como se menciona anteriormente la mina rajo tiene un uso más intensivo de combustibles, en particular de Diesel que es un combustible con un alto factor de emisión de gases de efecto invernadero y que es mayor comparativamente que otros combustibles como el gas natural.

El aumento en la intensidad de uso de combustible en el procesamiento de cobre es una tendencia que se irá acentuando a futuro por el envejecimiento de las minas actualmente en explotación y en particular esto aplica al uso de diesel.

I. INTRODUCCIÓN

La Dirección de Estudios y Políticas Públicas de Cochilco, en su constante preocupación por dar a conocer información acerca de la industria minera, en esta oportunidad presenta la evolución que ha mostrado el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero de la minería de cobre en Chile, desde el año 2001 hasta el 2011. La información aquí contenida, es resultado de la realización de la encuesta anual a las empresas mineras, la que incluye información a diciembre de cada año en relación a producción, fuentes de abastecimiento de agua, consumo de combustibles y de energía eléctrica por área de producción².

En esta oportunidad, la encuesta fue respondida por 34 faenas³, lo que corresponde a un 97% del total de la producción de cobre de mina del país.

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 al igual que la versión anterior sólo se analizan 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, en promedio sólo el 25% de las emisiones de la minería del cobre son emisiones directas y el 75% restante proviene del uso de electricidad en los procesos, lo que a nivel internacional (IPCC⁴) 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.

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

El presente informe se estructura en cinco secciones. Luego de la presente introducción, la segunda sección muestra la metodología utilizada tanto para el cálculo de los coeficientes unitarios de energía como para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero, la tercera sección muestra los resultados relacionados con el consumo de energía. A continuación, en la cuarta sección, se presentan las emisiones directas de gases de efecto invernadero. Finalmente se hacen algunos comentarios finales, en donde se explica el porqué de los resultados obtenidos.

² Se agradece a Cristián Cifuentes por apoyo en el trabajo de campo y posterior procesamiento de información además de Pedro Santic por aclaratorios comentarios.

³ Ver Anexo I.

⁴ IPCC: Internacional Panel on Climate Change (Panel Internacional de Cambio Climático)

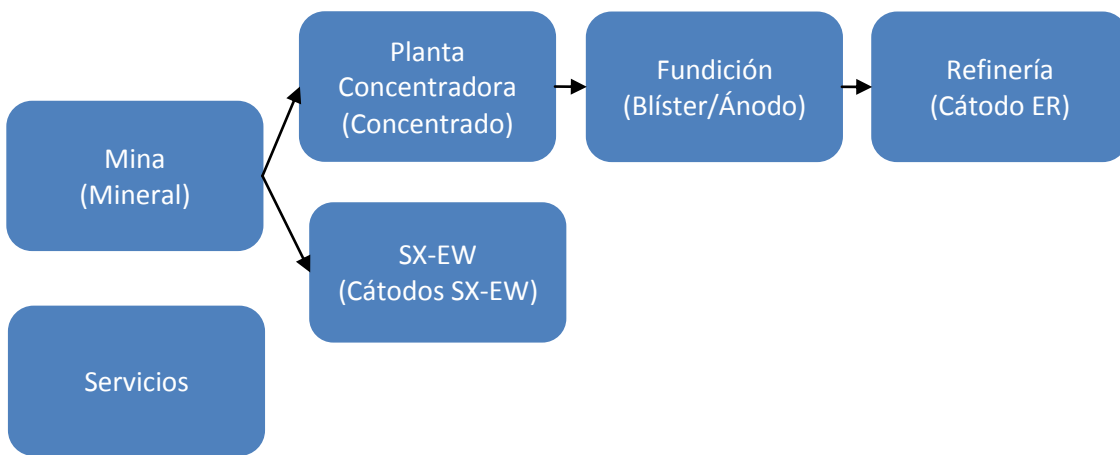
II. METODOLOGÍA

2.1 Energía

La metodología utilizada en este estudio consiste en estimar los coeficientes unitarios de energía, los que se obtienen al dividir la cantidad de energía consumida en cierta área de producción por la cantidad de masa que alimenta o produce aquella área. Estas áreas de producción, las cuales componen el proceso de obtención del cobre, generan flujos de productos, cuyo volumen total va decreciendo a medida que avanza el grado de refinación del producto. Es decir, el volumen de los productos disminuye a medida que la ley de cobre presente en ellos aumenta.

Las áreas de producción existentes en la minería del cobre chileno son las siguientes: mina, rajo y subterránea; concentradora; fundición; refinera electrolítica; tratamiento de minerales lixiviables, que incluye lixiviación, extracción por solventes y electroobtención; y servicios.

Figura 1 - Proceso Productivo del Cobre en Chile



El consumo de energía en la minería del cobre comprende el consumo de combustibles (diesel, gas natural, gas licuado, carbón, entre otros) y de energía eléctrica. Esta última es suministrada por el Sistema de Interconexión del Norte Grande (SING) y el Sistema de Interconexión Central (SIC).

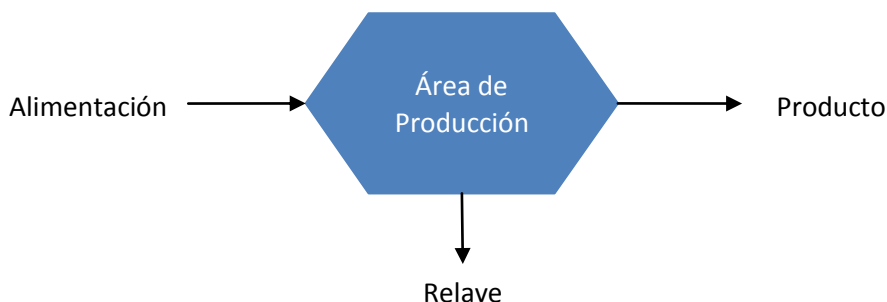
Figura 2 - Esquema general de energía consumida en la gran minería del cobre



Fuente: Elaboración COCHILCO

Cada una de las áreas de producción (Figura 1) cumple la función de ir refinando el producto. Cada una de estas áreas es alimentada, produciendo un producto y un relave (ver Figura 3). El producto obtenido tiene una mayor ley de cobre que el material alimentado. En el caso del relave, éste puede desecharse, reutilizarse o en algunos casos no producirse, dependiendo del área de producción que se esté analizando.

Figura 3 - Área de Producción y sus Parámetros



Fuente: Elaboración COCHILCO

En base a la información entregada por las 34 faenas mineras que contestaron la encuesta, las cuales representan un 97% de la producción de cobre mina de Chile, respecto del mineral extraído, razón lastre/mineral, tipo de mineral procesado, tipo de faena minera, tipos y volúmenes de productos, leyes de mineral para cada una de las operaciones mineras y para cada una de las áreas se calculó:

- Coeficiente Unitario Específico de consumo de cada uno de los combustibles:

$$\frac{\text{Consumo combustible por área de producción (Kg, m}^3\text{, TM)}}{\text{Tonelada Métrica de Cobre Fino Producido}}$$

- Coeficiente Unitario Global de consumo de combustibles en base a los poderes caloríficos específicos de cada uno de ellos:

$$\frac{\text{Consumo de combustible por área de producción (Megajoule)}}{\text{Tonelada Métrica de Cobre Fino Producido}}$$

- En el caso de la energía eléctrica, se calculó el Coeficiente Unitario Específico correspondiente

$$\frac{\text{Consumo de Energía Eléctrica por área de producción (KWh, Megajoule)}}{\text{Tonelada Métrica de Cobre Fino Producido}}$$

Para obtener la información del 100% de las empresas, lo que se hizo fue extrapolar los consumos asumiendo que los coeficientes calculados eran representativos para las empresas faltantes.

Los valores unitarios de cada una de las faenas mineras se ponderaron en base a la producción respectiva, para obtener un valor promedio sectorial representativo de cada una de las áreas de producción del cobre.

Con los valores unitarios obtenidos para cada año y para cada área se estimaron los consumos totales de energía (combustibles y energía eléctrica), del sector minería del cobre, en base a los

antecedentes disponibles en COCHILCO respecto de producción de cobre en cada una de las áreas del proceso.

2.2 Emisiones Directas de Gases de Efecto Invernadero

Las emisiones directas de GEI provienen del uso de CO₂, CH₄ y N₂O. Para calcular estas emisiones se usó el correspondiente factor de emisión del combustible y la fracción de carbono oxidado, datos publicados por el IPCC en “Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Workbook (Volume 2)”. Se calculan las emisiones en términos de CO₂ equivalente.

2.2.1 Cálculo Emisiones Directas

Para calcular las emisiones de CO₂ asociadas al consumo de cada tipo de combustible, se usó la siguiente fórmula:

$$Gf = Ef \times Eff \times FOC \times \frac{44}{12}$$

Donde:

Gf = emisiones de carbono [TM CO₂ equivalente]

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

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

FOC = fracción de carbono oxidado

44/12 = relación entre los pesos moleculares del CO₂ y el carbono

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

Tabla 1 - Factores de Emisión de Carbono y Fracción de Carbono Oxidado por Combustible

Tipo de Combustible	Factor de Emisión Eff (TM C/TJ)	Fracción de carbono oxidado 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 CH₄ y N₂O asociadas al uso directo de cada tipo de combustible, se utilizó la siguiente fórmula general, la cual requiere factores de emisión que son función del combustible y del tipo de uso que se le ha dado al combustible:

$$Emisión CH_4 = Ef \times \text{Factor de Emisión } CH_4 \times \frac{21}{1000}$$

$$Emisión N_2O = Ef \times \text{Factor de Emisión } N_2O \times \frac{310}{1000}$$

Donde

Emisión CH₄ = Emisiones de CH₄ expresadas como emisiones de CO₂ equivalente [TM CO₂ equivalente]

Emisión N₂O = Emisiones de N₂O expresadas como emisiones de CO₂ equivalente [TM CO₂ equivalente];

A pesar que las emisiones de CH₄ y N₂O son menores que las emisiones de CO₂, 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 CO₂ y en el caso del N₂O es 310 veces mayor, por lo que para expresarlas como emisiones de CO₂ equivalente, se multiplican por estos factores.

Tabla 2 - Factores de Emisión de CH₄ y N₂O por Tipo de Combustible y Uso

Tipo de Combustible	Uso	Factor de Emisión (Kg/TJ)	
		CH ₄	N ₂ 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. ENERGÍA

3.1 Consumos totales de energía

Como fue señalado anteriormente, en esta sección se muestran los consumos totales de energía en la minería del cobre chilena, tanto por fuente de energía (Tabla 3), como las variaciones porcentuales anuales asociadas (Tabla 4). En las Tablas 3 y 4 se puede observar que entre los años 2001 y 2011 mientras la producción de cobre fino del país aumentó en un 11,1% (de 4,7 millones a 5,3 millones de toneladas), el consumo de energía total del sector minería del cobre lo hizo en 59,6% de 86.234 a 137.606 Terajoule.

Tabla 3 - Consumo de Energía Total por Fuente de Energía (Petajoules) y Producción de Cobre (KTMF)

Energía	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Combustible	39,0	38,3	40,8	42,0	42,5	44,3	52,9	57,0	64,4	60,6	65,7
Energía Eléctrica	47,2	49,5	53,9	58,1	58,8	59,7	63,9	64,7	68,3	68,9	71,9
Total	86,2	87,7	94,8	100,1	101,3	104,1	116,8	121,6	132,7	129,6	137,6
Prod. Cu (KTMF)	4.739	4.581	4.904	5.413	5.321	5.361	5.557	5.330	5.390	5.419	5.263

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

Se puede observar que el consumo de energía consumida como combustibles creció un 68,7% y en particular la energía eléctrica se incrementó en 52,0% entre el año 2001 y 2011 (Ver Tabla 4).

Tabla 4 - Variación Porcentual del Consumo de Energía Total por Fuente de Energía y Variación Porcentual de la Producción de Cu fino

Energía	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2001 - 2011
Combustibles	-1,8	6,8	2,9	1,0	4,4	19,4	7,7	13,0	-5,8	8,4	68,7
E. Eléctrica	4,6	9,1	7,7	1,3	1,6	6,9	1,3	5,7	0,9	4,2	52,0
Total	1,7	8,1	5,6	1,2	2,8	12,2	4,2	9,1	-2,4	6,2	59,6
Prod. de Cu (KTMF)	-3,3	7,1	10,4	-1,7	0,8	3,7	-4,1	1,1	0,5	-2,9	11,1

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

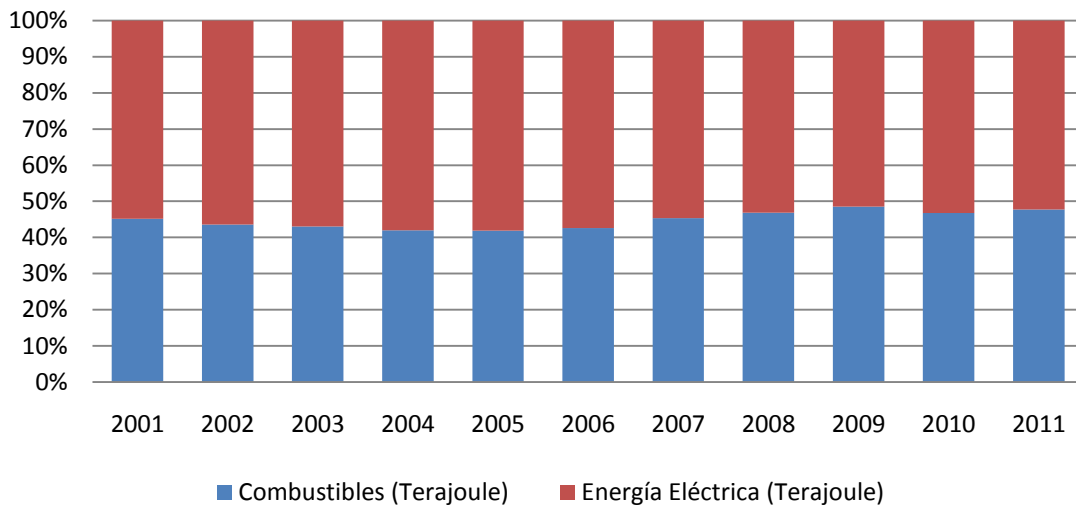
Las variaciones en el consumo que ha experimentado la intensidad de uso de energía en esta década se explica por una diversidad de factores. A continuación se mencionan algunos de ellos y la fuente energética que se ve afectada por cada factor:

- disminuciones en la ley y aumento de la dureza de los minerales: su efecto es un mayor consumo de combustible para obtener la misma cantidad de cobre fino desde la mina. Adicionalmente, en la planta concentradora se debe consumir más energía eléctrica para obtener la misma cantidad de concentrado.
- aumento de las distancias de acarreo, lo cual implica un mayor uso de combustibles.
- cambios tecnológicos, que permiten mayor eficiencia en los procesos productivos, tanto en el consumo de energía eléctrica como de combustibles.
- cambios en la cartera de productos comerciales: explican el aumento del consumo de energía eléctrica, ya que se pusieron en marcha proyectos que utilizan la lixiviación para el

tratamiento de sulfuros secundarios, los cuales consumen principalmente este tipo de energía.

Si bien los consumos de energía han ido aumentando en el tiempo, la distribución porcentual entre las fuentes de energía (combustibles y electricidad), no ha variado de manera significativa. Como se aprecia en la Figura 4, los combustibles han tenido una participación del 40-50%, mientras que la energía eléctrica ha tenido una participación del 50-60%.

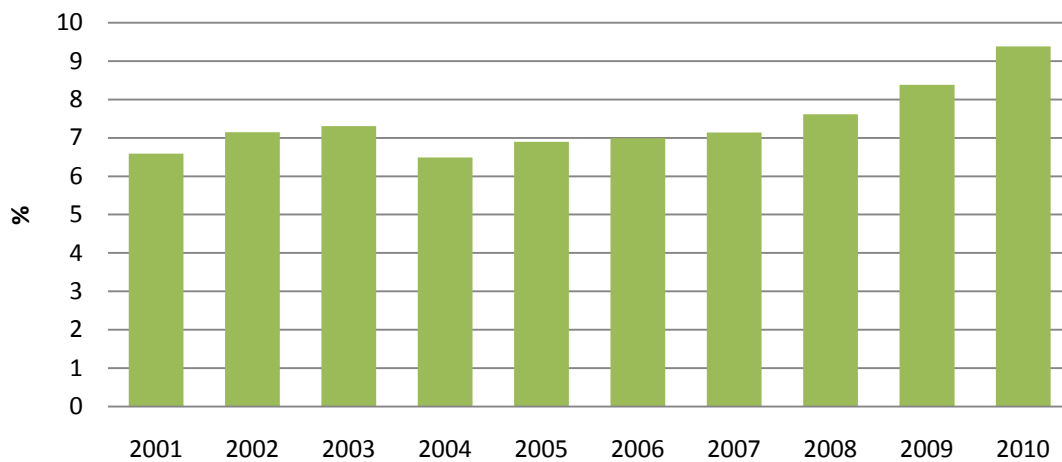
Figura 4 - Distribución del Consumo Total de Energía



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

En base al Balance Nacional de Energía 2010⁵, la industria de la minería del cobre tiene una participación del 9,4% en el consumo energético del país, la evolución de esta participación desde el año 2001 hasta el 2010 se muestra en la figura 5. Cabe señalar que a partir del 2007 se observa un alza en la participación del consumo de energía impulsado, principalmente, por el incremento en el consumo de combustible.

Figura 5 - Participación de la Industria del Cobre en el Consumo Energético del País



Fuente: Balances Nacionales de Energía publicados por Ministerio de Energía

⁵ Se utilizan los valores del 2010 debido a que el Balance Nacional de Energía 2011 no se encuentra disponible a la fecha de publicación del presente informe

3.2 Consumos unitarios de energía

Los consumos unitarios de energía, tanto de combustibles como los de energía eléctrica y los totales mostrados en Tabla 5, nos permiten analizar más en detalle lo que ha pasado en la última década en el uso de energía en el sector minero.

Tabla 5 - Consumo Unitario de Energía por Fuente Energética (MJ/TMF)

Energía	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Combustibles	8.222	8.351	8.328	7.766	7.982	8.272	9.526	10.692	11.949	11.190	12.490
E. Eléctrica	9.975	10.796	11.000	10.731	11.057	11.145	11.491	12.129	12.676	12.723	13.657
Total	18.197	19.147	19.328	18.497	19.039	19.417	21.017	22.822	24.625	23.913	26.147

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

Los consumos unitarios de energía se mantienen relativamente estables, no obstante desde el 2007 experimentan un fuerte crecimiento, impulsados principalmente por el incremento en los consumos unitarios de combustibles.

Como muestra la Tabla 6, el consumo unitario total de energía ha variado en un 43,7% desde el 2001 hasta el 2011. Por su parte, la variación del consumo unitario de combustibles y de electricidad fue de un 51,9% y 36,9% respectivamente.

Tabla 6 - Variación Porcentual del Consumo Unitario de Energía por Fuente Energética

Energía	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2001 - 2011
Combustibles	1,6	-0,3	-6,8	2,8	3,6	15,2	12,2	11,8	-6,4	11,6	51,9
E. Eléctrica	8,2	1,9	-2,4	3,0	0,8	3,1	5,6	4,5	0,4	7,3	36,9
Total	5,2	0,9	-4,3	2,9	2,0	8,2	8,6	7,9	-2,9	9,4	43,7

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

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.

Se debe considerar que hay factores que temporalmente afectan el promedio de consumo de combustible de la mina, los cuales pueden explicar las variaciones que año a año se producen. Estos son:

- En algunas faenas hay una menor extracción de mineral y se mantiene el nivel de actividad de la mina o bien este nivel de actividad no baja en igual proporción al descenso de mineral extraído resultando en un aumento en los coeficientes de consumo unitario de combustible. Al respecto cabe señalar casos como el de Chuquicamata, que está terminando su vida útil como mina rajo y está entrando a una fase de declinación de su producción y según información pública se estima que su cierre será el 2020, por lo tanto sus niveles de producción de mineral han comenzado a bajar.
- También hay casos de faenas que están en proceso de expansión, lo cual implica un mayor consumo de combustible puesto que la faena está preparando la mina para niveles mayores de actividad a futuro.

- En el caso del aumento en el consumo de energía eléctrica contribuye el incremento en la producción de cobre a partir de minerales lixiviables en la última década. Las distintas etapas del procesamiento hidrometalúrgico (bombeo de soluciones en la etapa de lixiviación y extracción por solvente, y la electrodeposición) consumen principalmente energía eléctrica.

3.3 Consumos de energía por Área de Producción

Tabla 7 - Consumo de Energía por Fuente Energética y por Área (Terajoule)

Proceso	Energía	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
MINA RAJO	Combustibles	21.664,3	22.336,5	23.188,7	25.717,8	24.821,2	26.807,0	34.698,6	39.656,4	45.857,3	42.374,5	48.776,6
	E. Eléctrica	2.237,8	2.360,3	2.838,1	3.390,3	3.783,8	3.688,1	4.201,7	4.608,9	4.958,8	4.273,8	4.130,9
	Total	23.902,1	24.696,7	26.026,8	29.108,1	28.605,1	30.495,1	38.900,3	44.265,3	50.816,2	46.648,3	52.907,5
MINA SUBTERRÁNEA	Combustibles	724,4	755,7	830,1	865,1	1.120,8	1.357,3	1.381,5	836,5	1.130,9	702,8	981,7
	E. Eléctrica	954,8	944,8	1.025,3	1.087,5	1.310,3	1.469,8	1.292,7	1.353,4	1.457,1	1.294,8	1.528,6
	Total	1.679,1	1.700,5	1.855,4	1.952,6	2.431,1	2.827,1	2.674,1	2.190,0	2.588,1	1.997,6	2.510,3
MINA (RAJO+SUBTE)	Combustibles	22.388,7	23.092,2	24.018,8	26.582,9	25.942,1	28.164,3	36.080,1	40.492,9	46.988,3	43.077,3	49.758,3
	E. Eléctrica	3.192,5	3.305,0	3.863,4	4.477,8	5.094,1	5.157,9	5.494,3	5.962,4	6.416,0	5.568,7	5.659,5
	Total	25.581,2	26.397,2	27.882,2	31.060,7	31.036,2	33.322,2	41.574,4	46.455,3	53.404,3	48.645,9	55.417,8
CONCENTRADORA	Combustibles	660,5	573,9	672,0	674,9	818,1	690,5	710,3	793,2	793,4	698,4	733,6
	E. Eléctrica	20.140,8	20.922,7	23.574,9	26.584,0	27.450,4	27.660,1	29.607,7	27.899,4	30.112,5	30.267,5	33.946,5
	Total	20.801,4	21.496,5	24.246,9	27.258,8	28.268,5	28.350,6	30.318,0	28.692,7	30.905,9	30.965,9	34.680,0
TRAT. MINERALES LIXIVIABLES	Combustibles	3.505,5	3.731,7	4.332,0	4.367,4	4.604,2	4.895,6	5.669,6	6.079,2	6.344,8	6.652,1	6.023,9
	E. Eléctrica	14.678,5	15.977,9	16.897,7	17.065,0	15.976,7	17.135,6	19.199,8	21.123,1	21.752,4	22.208,8	22.409,3
	Total	18.184,0	19.709,5	21.229,7	21.432,5	20.580,8	22.031,3	24.869,3	27.202,3	28.097,2	28.860,9	28.433,3
FUNDICIÓN	Combustibles	9.187,4	7.588,9	7.760,6	7.132,3	7.736,3	7.558,0	7.518,6	7.079,0	7.122,2	7.299,2	6.540,3
	E. Eléctrica	5.294,1	5.314,3	5.784,2	5.821,7	5.876,6	5.915,4	5.886,4	5.424,8	5.376,6	5.835,3	5.348,2
	Total	14.481,5	12.903,2	13.544,7	12.954,0	13.612,9	13.473,4	13.405,0	12.503,8	12.498,7	13.134,5	11.888,5
REFINERIA	Combustibles	1.524,7	1.537,8	1.552,3	1.549,8	1.886,6	1.536,7	1.481,9	1.180,3	1.175,5	916,8	1.045,1
	E. Eléctrica	1.478,7	1.387,2	1.371,1	1.341,3	1.367,7	1.181,8	1.203,3	1.269,2	1.344,2	1.383,1	1.336,0
	Total	3.003,4	2.925,0	2.923,5	2.891,1	3.254,4	2.718,5	2.685,1	2.449,6	2.519,7	2.299,9	2.381,2
SERVICIOS	Combustibles	1.695,3	1.726,7	2.504,9	1.724,2	1.480,8	1.501,2	1.478,7	1.368,2	1.977,6	1.992,9	1.630,9
	E. Eléctrica	2.487,2	2.547,1	2.453,7	2.792,2	3.065,1	2.693,6	2.462,9	2.974,4	3.316,5	3.683,1	3.174,2
	Total	4.182,5	4.273,7	4.958,7	4.516,3	4.545,9	4.194,8	3.941,6	4.342,6	5.294,1	5.676,0	4.805,1

Tabla 8 - Variación Porcentual del Consumo de Energía, por Fuente Energética y por Área

Proceso	Energía	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2001- 2011
MINA RAJO	Combustibles	3,1	3,8	10,9	-3,5	8,0	29,4	14,3	15,6	-7,6	15,1	125,1
	E. Eléctrica	5,5	20,2	19,5	11,6	-2,5	13,9	9,7	7,6	-13,8	-3,3	84,6
	Total	3,3	5,4	11,8	-1,7	6,6	27,6	13,8	14,8	-8,2	13,4	121,4
MINA SUBTERRÁNEA	Combustibles	4,3	9,8	4,2	29,6	21,1	1,8	-39,4	35,2	-37,9	39,7	35,5
	E. Eléctrica	-1,0	8,5	6,1	20,5	12,2	-12,0	4,7	7,7	-11,1	18,1	60,1
	Total	1,3	9,1	5,2	24,5	16,3	-5,4	-18,1	18,2	-22,8	25,7	49,5
MINA (RAJO+SUBTE)	Combustibles	3,1	4,0	10,7	-2,4	8,6	28,1	12,2	16,0	-8,3	15,5	122,2
	E. Eléctrica	3,5	16,9	15,9	13,8	1,3	6,5	8,5	7,6	-13,2	1,6	77,3
	Total	3,2	5,6	11,4	-0,1	7,4	24,8	11,7	15,0	-8,9	13,9	116,6
CONCENTRADORA	Combustibles	-13,1	17,1	0,4	21,2	-15,6	2,9	11,7	0,0	-12,0	5,0	11,1
	E. Eléctrica	3,9	12,7	12,8	3,3	0,8	7,0	-5,8	7,9	0,5	12,2	68,5
	Total	3,3	12,8	12,4	3,7	0,3	6,9	-5,4	7,7	0,2	12,0	66,7
TRAT. MINERALES LIXIVIABLES	Combustibles	6,5	16,1	0,8	5,4	6,3	15,8	7,2	4,4	4,8	-9,4	71,8
	E. Eléctrica	8,9	5,8	1,0	-6,4	7,3	12,0	10,0	3,0	2,1	0,9	52,7
	Total	8,4	7,7	1,0	-4,0	7,0	12,9	9,4	3,3	2,7	-1,5	56,4
FUNDICIÓN	Combustibles	-17,4	2,3	-8,1	8,5	-2,3	-0,5	-5,8	0,6	2,5	-10,4	-28,8
	E. Eléctrica	0,4	8,8	0,6	0,9	0,7	-0,5	-7,8	-0,9	8,5	-8,3	1,0
	Total	-10,9	5,0	-4,4	5,1	-1,0	-0,5	-6,7	0,0	5,1	-9,5	-17,9
REFINERIA	Combustibles	0,9	0,9	-0,2	21,7	-18,5	-3,6	-20,3	-0,4	-22,0	14,0	-31,5
	E. Eléctrica	-6,2	-1,2	-2,2	2,0	-13,6	1,8	5,5	5,9	2,9	-3,4	-9,6
	Total	-2,6	-0,1	-1,1	12,6	-16,5	-1,2	-8,8	2,9	-8,7	3,5	-20,7
SERVICIOS	Combustibles	1,9	45,1	-31,2	-14,1	1,4	-1,5	-7,5	44,5	0,8	-18,2	-3,8
	E. Eléctrica	2,4	-3,7	13,8	9,8	-12,1	-8,6	20,8	11,5	11,1	-13,8	27,6
	Total	2,2	16,0	-8,9	0,7	-7,7	-6,0	10,2	21,9	7,2	-15,3	14,9

Tabla 9 - Consumo Unitario de Energía por Cobre Fino Producido, por Fuente Energética y por Área (MJ/TMF)

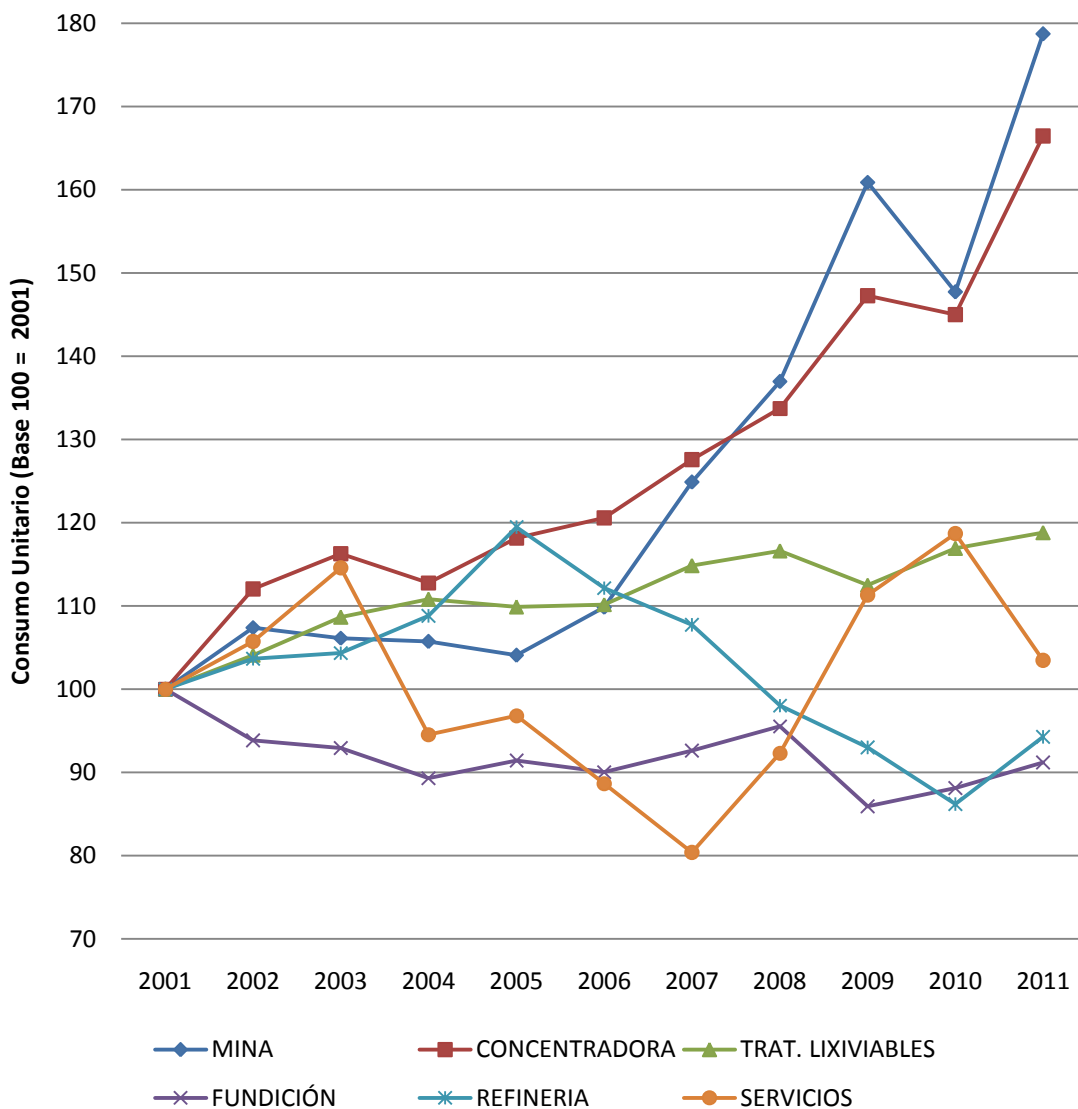
Proceso	Energía	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
MINA RAJO	Combustibles	4.307,9	4.595,0	4.446,4	4.442,4	4.196,4	4.465,0	5.119,6	5.634,4	6.764,3	6.217,7	7.719,7
	E. Eléctrica	445,0	485,5	544,2	585,6	639,7	614,3	619,9	654,8	731,5	627,1	653,8
	Total	4.752,9	5.080,6	4.990,6	5.028,0	4.836,1	5.079,2	5.739,6	6.289,2	7.495,8	6.844,8	8.373,4
MINA SUBTERRÁNEA	Combustibles	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	1.393,2
	E. Eléctrica	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	2.169,4
	Total	2.195,3	2.406,9	2.523,5	2.258,5	2.891,6	3.257,4	3.500,7	3.397,0	3.501,6	3.105,4	3.562,6
MINA (RAJO+SUBTE)	Combustibles	3.864,2	4.147,7	4.036,5	3.995,2	3.840,1	4.098,6	4.784,2	5.270,5	6.249,8	5.775,7	7.084,9
	E. Eléctrica	551,0	593,6	649,3	673,0	754,1	750,6	728,6	776,1	853,4	746,6	805,8
	Total	4.415,3	4.741,3	4.685,8	4.668,2	4.594,1	4.849,2	5.512,8	6.046,5	7.103,1	6.522,3	7.890,8
CONCENTRADORA	Combustibles	200,4	188,8	203,4	176,2	215,8	185,4	188,6	233,4	238,6	206,4	222,2
	E. Eléctrica	6.111,8	6.881,7	7.135,3	6.942,7	7.240,9	7.424,5	7.862,7	8.208,5	9.055,5	8.945,6	10.283,5
	Total	6.312,3	7.070,5	7.338,7	7.118,9	7.456,7	7.609,9	8.051,4	8.441,9	9.294,1	9.152,0	10.505,7
TRAT. MINERALES LIXIVIABLES	Combustibles	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	2.975,1
	E. Eléctrica	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	10.633,8	11.067,4
	Total	11.821,4	12.303,4	12.842,4	13.098,1	12.987,9	13.022,4	13.574,2	13.782,4	13.298,9	13.818,9	14.042,5
FUNDICIÓN	Combustibles	6.063,7	5.275,1	5.087,8	4.699,8	4.965,3	4.827,9	4.964,9	5.170,3	4.678,6	4.679,5	4.794,3
	E. Eléctrica	3.494,1	3.694,0	3.792,0	3.836,2	3.771,7	3.778,7	3.887,1	3.962,1	3.531,9	3.741,0	3.920,4
	Total	9.557,8	8.969,0	8.879,8	8.536,0	8.737,0	8.606,6	8.852,0	9.132,4	8.210,5	8.420,5	8.714,6
REFINERIA	Combustibles	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	1.046,6
	E. Eléctrica	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	1.337,9
	Total	2.529,7	2.621,8	2.639,8	2.751,9	3.021,7	2.837,1	2.725,2	2.480,2	2.352,1	2.180,2	2.384,5
SERVICIOS	Combustibles	357,7	377,0	510,8	318,6	278,3	280,0	266,1	256,7	366,9	367,8	309,9
	E. Eléctrica	524,8	556,0	500,3	515,9	576,1	502,5	443,2	558,0	615,4	679,7	603,1
	Total	882,6	933,0	1.011,1	834,4	854,4	782,5	709,3	814,7	982,3	1.047,4	913,0

Tabla 10 - Variación Porcentual del Consumo Unitario de Energía por Cobre Fino producido, por Fuente Energética y por Área

Proceso	Energía	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2001-2011
MINA RAJO	Combustible	6,7	-3,2	-0,1	-5,5	6,4	14,7	10,1	20,1	-8,1	24,2	79,2
	E. Eléctrica	9,1	12,1	7,6	9,2	-4,0	0,9	5,6	11,7	-14,3	4,3	46,9
	E. Total	6,9	-1,8	0,7	-3,8	5,0	13,0	9,6	19,2	-8,7	22,3	76,2
MINA SUBTE	Combustible	12,9	5,5	-11,4	33,2	17,3	15,6	-28,2	17,9	-28,6	27,5	47,1
	E. Eléctrica	7,1	4,3	-9,8	23,9	8,7	-0,1	24,1	-6,1	2,1	7,8	73,8
	E. Total	9,6	4,8	-10,5	28,0	12,7	7,5	-3,0	3,1	-11,3	14,7	62,3
MINA (RAJO+SUBTE)	Combustible	7,3	-2,7	-1,0	-3,9	6,7	16,7	10,2	18,6	-7,6	22,7	83,3
	E. Eléctrica	7,7	9,4	3,7	12,0	-0,5	-2,9	6,5	10,0	-12,5	7,9	46,2
	E. Total	7,4	-1,2	-0,4	-1,6	5,6	13,7	9,7	17,5	-8,2	21,0	78,7
PLANTA CONCENTRADORA	Combustible	-5,8	7,8	-13,3	22,4	-14,1	1,8	23,7	2,2	-13,5	7,7	10,9
	E. Eléctrica	12,6	3,7	-2,7	4,3	2,5	5,9	4,4	10,3	-1,2	15,0	68,3
	E. Total	12,0	3,8	-3,0	4,7	2,1	5,8	4,9	10,1	-1,5	14,8	66,4
TRAT. MINERALES LIX.	Combustible	2,2	12,5	1,9	8,9	-0,4	6,9	-0,5	-2,5	6,1	-6,6	30,5
	E. Eléctrica	4,5	2,5	2,0	-3,3	0,5	3,5	2,1	-3,8	3,3	4,1	16,0
	E. Total	4,1	4,4	2,0	-0,8	0,3	4,2	1,5	-3,5	3,9	1,6	18,8
FUNDICIÓN	Combustible	-13,0	-3,6	-7,6	5,6	-2,8	2,8	4,1	-9,5	0,0	2,5	-20,9
	E. Eléctrica	5,7	2,7	1,2	-1,7	0,2	2,9	1,9	-10,9	5,9	4,8	12,2
	E. Total	-6,2	-1,0	-3,9	2,4	-1,5	2,9	3,2	-10,1	2,6	3,5	-8,8
REFINERÍA	Combustible	7,3	1,7	5,2	18,7	-8,4	-6,2	-20,5	-8,2	-20,8	20,4	-18,5
	E. Eléctrica	-0,2	-0,4	3,1	-0,5	-2,9	-1,0	5,2	-2,4	4,5	2,0	7,4
	E. Total	3,6	0,7	4,2	9,8	-6,1	-3,9	-9,0	-5,2	-7,3	9,4	-5,7
SERVICIOS	Combustible	5,4	35,5	-37,6	-12,6	0,6	-5,0	-3,5	42,9	0,2	-15,7	-13,4
	E. Eléctrica	5,9	-10,0	3,1	11,7	-12,8	-11,8	25,9	10,3	10,5	-11,3	14,9
	E. Total	5,7	8,4	-17,5	2,4	-8,4	-9,4	14,9	20,6	6,6	-12,8	3,5

La Figura 6 muestra la evolución de los coeficientes unitarios de energía total por fino producido por área de producción, tomando como base=100 el año 2001. De esta forma es posible observar que los coeficientes que más han aumentado en términos relativos son los de mina y concentradora. En tanto, los que más han disminuido en términos relativos son los coeficientes de refinería y fundición. Esto coincide con las explicaciones ya expuestas en relación al envejecimiento de la mina, las cuales traen como consecuencia la extracción de un mineral de menor ley y con mayor dureza. Por su parte en los procesos de refinería y fundición, las propiedades de la alimentación han permanecido estables en el tiempo, por lo que cualquier mejora tecnológica y/o de gestión se verá reflejada en una disminución del coeficiente unitario.

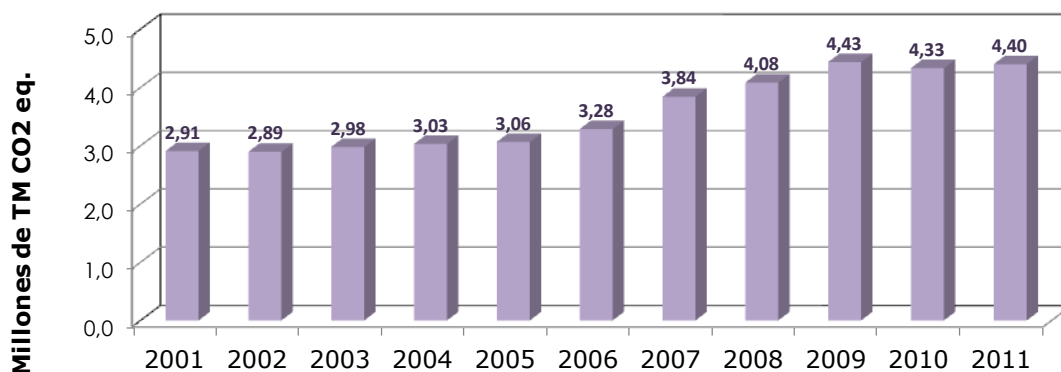
Figura 6 - Evolución de los Coeficientes Unitarios de Energía Total por Área de Producción



IV. EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

La Figura N° 7 muestra las emisiones directas de gases de efecto invernadero provenientes de CO₂, CH₄, y N₂O, medidas en términos de CO₂ equivalente, que ha generado el sector minero del cobre en el período 2001-2011, producto de la utilización directa de combustibles en sus faenas.

Figura 7 - Evolución de las Emisiones Directas Totales de GEI de la Minería del Cobre Chilena entre años 2001 y 2011



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

Se observa que hay un aumento de emisiones GEI directas de 2,91 a 4,40 millones de TM CO₂ equivalente, lo cual representa un incremento del 51% entre el año 2001 y 2011. Este hecho se debe a que la energía consumida como combustibles por parte de la minería del cobre se incrementó entre los años 2001 y 2011 en un 53%, por lo tanto al haber un incremento en el uso de combustibles hay un incremento en las emisiones de GEI respectivas.

Los principales combustibles utilizados son el petróleo diesel (82,4%), enap 6 (11,3%) y gas natural (5,0%), siendo marginal la participación de los otros combustibles (carbón, kerosene, butano, gas licuado y gasolinas).

El diesel es el combustible más usado en la industria minera, además de ser el con mayor aumento en su uso entre el año 2001 y 2011, con un 94% (Ver Tabla 11). Como fue señalado en la metodología, el diesel es uno de los combustibles que tiene un alto factor de emisión de gases de efecto invernadero, mayor comparativamente a otros combustibles como el gas natural (ver Tabla 1).

Tabla 11 - Combustibles Consumidos por la Minería del Cobre

Combustible	Unidad	Cantidad (masa o volumen)		Terajoules		Porcentaje Comparación 2001-2011
		2001	2011	2001	2011	
Carbón	Kg	5.579.296	8.698.044	163	255	56
Gasolina	m ³	9.810	2.964	336	101	-70
Diesel	m ³	684.504	1.327.713	26.222	50.863	94
Enap 6	TM	266.029	174.780	11.687	7.678	-34
Kerosene	m ³	9.687	9.608	364	361	-1
Gas Licuado	Kg	3.938.628	5.119.948	199	259	30
Gas Natural	m ³	67.046.875	108.920.040	2.620	4.257	62
TOTAL				41.591	63.775	53

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

En Tabla 12 se muestra que el diesel es utilizado mayormente en el área mina rajo que concentra el 45,1% del total de uso de diesel en la minería del cobre. Este combustible es utilizado en el transporte de mineral y lastre en cargadores y camiones.

Tabla 12 - Consumo Combustible Diesel por Área de Producción

Área de producción	Diesel (m3)	Porcentaje Uso por Área
MINA RAJO	1.109.756	45,1
MINA SUBTERRÁNEA	26.220	1,1
CONCENTRADORA	14.411	0,6
SXEW	116.386	4,7
FUNDICION	14.960	0,6
REFINERIA	1.317	0,1
SERVICIOS	39.101	1,6
Total general	2.458.127	100,0

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

4.1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por Área de Producción

En Tabla 13 se observa que en el período analizado 2001-2011 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, refinería y servicios. En las secciones a continuación se explican más en detalle las emisiones de gases de efecto invernadero por área de producción para el período analizado.

La principal área generadora de emisiones es la mina rajo (que es el área con uso más intensivo de combustibles) (67%) seguida de lejos por la fundición (12%), el tratamiento de minerales lixiviables (9%) y los servicios (8%). Las áreas que tienen menores emisiones directas de GEI son la mina subterránea, la concentradora y la refinería.

Tabla 13 - Emisiones de GEI por Área de Producción

GEI por área Producción (TM CO2 eq.)	2001	2011	Porcentaje Comparación 2001-2011	Porcentaje Emisión GEI por Área 2011
Mina Rajo	1.439.427	2.954.943	105,3	67,2
Mina Subterránea	37.875	69.757	84,2	1,6
Concentradora	35.432	48.609	37,2	1,1
Fundición	683.084	523.409	-23,4	11,9
Refinería	100.750	59.318	-41,1	1,3
LX-SX-EW	242.814	383.944	58,1	8,7
Servicios	367.440	356.576	-3,0	8,1
TOTAL	2.906.822	4.396.555	51,2	100,0

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

4.1.1 Área mina

En general los principales factores que influyen en el consumo de combustibles en el área mina son la razón lastre / mineral, las distancias medias de acarreo, la geometría del yacimiento, la dureza de la roca y factores tecnológicos relacionados con los equipos que se utilizan para el transporte del mineral y el lastre.

Si comparamos las emisiones por tipo de minería, la subterránea presenta una menor cantidad emitida 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. También se debe considerar que la escala de producción de las minas a rajo es ampliamente mayor a la escala de producción de las minas subterráneas, por lo que las emisiones de GEI serán mayores en las primeras.

En el área mina rajo las emisiones directas de GEI aumentan un 105% de 1,44 millones de TM de CO₂ en el año 2001 a 2,95 millones de TM de CO₂ en el año 2011.

El aumento de las emisiones directas de GEI en la mina rajo se debe a un incremento en el consumo de combustible en esta área, 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 todo lo cual implica un mayor uso de combustible y por tanto mayores emisiones directas de GEI.

4.1.2 Concentradora

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, y el consumo de combustibles representa un 2% del total de la energía consumida en esta etapa de producción de cobre.

4.1.3 Área de Tratamiento de Minerales Lixiviables

Los combustibles en esta área se utilizan para la formación y descarga de pilas, en algunos casos calefacción del mineral y de las soluciones de lixiviación, y calefacción del electrolito en la electrodeposición.

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 58,1%, de 0,24 a 0,38 millones de TM CO₂. 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.

4.1.4 Área Refinación Electrolítica y Fundición

En las áreas de refinación y fundición se observa que disminuyen las emisiones directas de GEI en período 2001-2011. En refinación disminuyen en un 41% de 0,1 a 0,059 millones de TM de CO₂, en tanto en fundición disminuyen un 23% de 0,68 en el año 2001 a 0,52 millones en el año 2011.

El área de refinación electrolítica tiene consumos de combustibles y energía eléctrica por unidad de cátodos electro refinados (ER) producidos relativamente similares. En esta área los combustibles se utilizan para mantener la temperatura del electrolito.

El motivo principal de la disminución en emisiones de GEI 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 el área fundición, se mantiene su esquema operacional y capacidad de producción durante este período. Lo que sí se observan son cambios tecnológicos en el área de fusión de concentrados, impulsados por el necesario cumplimiento de la normativa ambiental. Esto indujo el cambio de los hornos reverbero por hornos de fusión autógena (Convertidor Teniente, Convertidor Noranda y Horno Flash Outokumpu), que son más intensivos en el uso de energía eléctrica, en lugar de combustibles. En consecuencia, se produce una reducción en las emisiones de GEI.

Cabe señalar que existe un potencial de recuperación de energía a partir de los gases de las fundiciones, lo que en la actualidad no está siendo utilizado, y que permitiría disminuir aún más los consumos de combustibles y por tanto las emisiones directas de GEI.

V. COMENTARIOS FINALES

5.1 Energía

- Entre los años 2001 y 2011 mientras la producción de cobre fino del país aumentó en un 11,1% (de 4,7 millones a 5,3 millones de toneladas) el consumo de energía total del sector minería del cobre creció un 59,6%, de 86.234 Terajoule a 137.606 Terajoule
- En términos de coeficientes unitarios de energía para el período 2001-2011:
 - El consumo de combustibles aumentan en un 51,9%,
 - El consumo de energía eléctrica aumenta de 36,9%
 - El consumo total de energía se incrementó en un 43,7%
- En el período 2001-2011 el consumo total de energía se incrementa en cada una de las áreas del proceso de producción:
 - mina en un 117 %,
 - concentradora en 67%,
 - tratamiento de minerales lixiviables en 56% y
 - servicios en un 15 %
 - exceptuando fundición y refinería electrolítica que han reducido su consumo en un 18% y 21% respectivamente.
- 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 la última década, ha experimentado un aumento en la intensidad de uso de energía a una tasa promedio anual de 4,6%.
- Las áreas con un uso más intensivo de energía en el año 2011 son la explotación minera (40%), seguida por la concentradora (25%) y el tratamiento de minerales lixiviables (21%).
- 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 45%.
 - En período 2001-2011 el consumo de energía eléctrica en la concentradora aumentó en 69%.
 - El tratamiento de minerales lixiviables consume el 31% del total de la energía eléctrica consumida por el sector.

- En período 2001-2011 el consumo de energía eléctrica en el tratamiento de minerales lixiviables aumentó en 53%.
- El aumento en el consumo de energía eléctrica se explica, entre otros, por el incremento en la dureza del material procesado en la concentradora. Otro factor importante que contribuye al consumo de energía eléctrica en la última década es el incremento en la producción de cobre a partir de minerales oxidados. En efecto, las distintas etapas del procesamiento hidrometalúrgico, esto es, bombeo de soluciones en la etapa de lixiviación y extracción por solvente, y la electrodeposición, son fundamentalmente consumidoras de energía eléctrica.
- En el ámbito de los combustibles, la explotación minera consume un 90% del total de energía a través de esta fuente.
 - Para el período 2001-2011, los consumos de energía como combustibles en la mina se incrementaron en 122%.
 - Las nuevas minas que han entrado en operación en el período son de rajo abierto, y el cambio en la geometría de la mina con el tiempo conlleva el consiguiente aumento de consumo de combustibles.
- Es así como el sector minería del cobre en los 11 últimos años en cuanto a consumos totales y unitarios de energía, 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
- A nivel país, la participación promedio de la minería del cobre en el consumo total final de energía del país en año 2010 fue de un 12%. Por tipo de energía, las empresas del sector consumieron en el año 2010 un 34% del total de la energía eléctrica consumida por el país y sólo un 7% del total de combustibles.

5.2GEI

- En este artículo se calculan solamente las emisiones directas de GEI. Este inventario contiene las emisiones de CO₂, CH₄, y N₂O, puesto que éstos son los GEI relevantes para el caso de la minería del cobre.
- Entre el 2001 y 2011 hay un aumento de emisiones GEI directas de 2,91 a 4,40 millones de TM CO₂ equivalente, lo cual representa un incremento del 51%.
- Este hecho se debe a que la energía consumida como combustibles por parte de la minería del cobre se incrementó entre los años 2001 y 2011 en un 53%, por lo tanto al haber un incremento en el uso de combustibles hay un incremento en las emisiones de GEI respectivas

- La principal área generadora de emisiones es la mina rajo (que es el área con uso más intensivo de combustibles) (67%) seguida de lejos por la fundición (12%), el tratamiento de minerales lixiviables (9%) y los servicios (8%).
- El aumento en la intensidad de uso de combustible en el procesamiento de cobre es una tendencia que se irá acentuando a futuro por el envejecimiento de las minas actualmente en explotación y en particular esto aplica al uso de diesel.
- 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, es claro el desafío que esto es para la minería.
- 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 reducción de emisiones de GEI.

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
- Compañía Minera Los Pelambres
- Anglo American Chile Ltda.
 - Mantos Blancos
 - Manto Verde
 - El Soldado
 - Los Bronces
 - Fundición Chagres
- Fundición Altonorte
- Empresa Nacional de Minería
- Planta Delta
- Fundición Hernán Videla Lira
 - Planta Taltal
 - Planta Salado
 - Planta Matta
 - Planta Vallenar
 - 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: Tablas adicionales

Tabla 14 - Cobre Fino por Proceso (KTMF)

Proceso	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
MINA RAJO	5028,9	4861,0	5215,2	5789,2	5914,9	6003,9	6777,5	7038,3	6779,3	6815,2	6318,5
MINA SUBTE	764,9	706,5	735,3	864,5	840,7	867,9	763,9	644,7	739,1	643,3	704,6
MINA (RAJO + SUBTE)	5793,8	5567,5	5950,4	6653,7	6755,6	6871,8	7541,4	7683,0	7518,4	7458,4	7023,1
CONCENTRADORA	3295,4	3040,3	3304,0	3829,1	3791,0	3725,5	3765,6	3398,8	3325,3	3383,5	3301,1
TRAT. LIXIVIABLES	1538,2	1602,0	1653,1	1636,3	1584,6	1691,8	1832,1	1973,7	2112,8	2088,5	2024,8
FUNDICIÓN	1515,2	1438,6	1525,3	1517,6	1558,1	1565,5	1514,3	1369,2	1522,3	1559,8	1364,2
REFINERÍA	1187,3	1115,6	1107,4	1050,6	1077,0	958,2	985,3	987,7	1071,3	1054,9	998,6
SERVICIOS	4739,0	4580,6	4904,2	5412,6	5320,5	5360,8	5557,0	5330,3	5389,6	5418,9	5262,8

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

Tabla 15 - Cobre Fino Comercializable (Cu fino en Concentrado y Cátodos SX-EW) (KTMF)

Proceso	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Producción Cu Comercializable	4739,0	4580,6	4904,2	5412,5	5320,5	5360,8	5557,0	5327,6	5394,4	5418,9	5262,8

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

Tabla 16 - Consumo de Energía según Balance Nacional de Energía (Teracalorías)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Industria del Cobre	18936,0	20904,0	21811,0	20817,6	22708,6	23634,7	25710,6	27045,3	28926,2	33264,7
Total País	287550,0	292454,0	298566,0	320822,0	329408,1	338277,7	360160,0	355258,7	345047,6	354503,4

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

Tabla 17 - Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía por Área (por tonelada de mineral extraído o tratado)

Proceso	Energía	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Mina Rajo (MJ / TM mineral extraído)	Combustibles	44,2	44,0	41,4	43,2	38,1	41,7	47,5	46,6	47,3	48,5	56,9
	E. Eléctrica	4,6	4,6	5,2	5,8	5,9	5,8	5,8	5,4	5,3	4,9	4,9
	Total	48,9	48,4	47,1	49,3	44,3	47,7	53,5	51,9	53,3	53,4	62,2
Mina Subterránea (MJ / TM mineral extraído)	Combustibles	10,6	11,5	12,0	10,6	13,9	15,8	18,2	12,8	14,6	10,4	12,6
	E. Eléctrica	14,0	14,4	14,9	13,3	16,2	17,1	17,1	20,7	18,8	19,2	19,8
	Total	24,6	25,9	26,9	23,9	30,1	32,9	35,3	33,5	33,4	29,6	32,4
Mina (MJ / TM mineral extraído)	Combustibles	39,6	39,8	37,6	38,8	35,1	38,6	44,1	43,6	44,2	45,3	52,6
	E. Eléctrica	6,0	6,0	6,5	6,9	7,2	7,2	7,2	6,8	6,6	6,2	6,4
	Total	46,6	46,7	45,2	46,6	42,9	46,1	52,6	51,5	52,5	52,6	60,6
Concentradora (MJ / TM mineral procesado)	Combustibles	2,1	1,8	1,9	1,7	1,9	1,6	1,5	2,0	1,9	1,6	1,8
	E. Eléctrica	67,2	69,6	71,5	70,0	69,9	72,0	73,6	76,8	73,4	72,9	79,5
	Total	67,7	69,4	71,0	70,2	68,7	69,5	69,2	75,5	74,7	72,7	83,1
LX / SX / EW (MJ / TM mineral tratado)	Combustibles	16,4	15,7	15,7	16,2	14,9	14,8	14,7	12,2	13,2	12,3	12,5
	E. Eléctrica	64,5	62,6	61,0	61,2	51,7	51,7	49,6	42,5	45,1	41,1	46,3
	Total	82,4	80,0	76,8	78,2	66,6	66,5	64,4	54,7	58,4	53,4	58,9
Fundición (MJ / TM concentrado procesado)	Combustibles	2045,9	1751,7	1684,6	1533,9	1603,8	1549,5	1563,8	1607,8	1440,1	1437,8	1401,3
	E. Eléctrica	1143,3	1204,7	1221,1	1219,0	1282,4	1178,9	1207,2	1229,4	1112,3	1143,0	1171,4
	Total	3175,4	2951,5	2899,2	2748,7	2894,4	2723,2	2768,5	2836,8	2556,1	2580,0	2575,2

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

Tabla 18 - Emisiones de CO₂eq por Área de Producción (toneladas métricas)

Área	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Mina Rajo	1.439.427	1.551.749	1.563.116	1.746.841	1.729.482	1.948.850	2.325.399	2.549.476	2.719.821	2.837.840	2.954.943
Mina Subte.	37.875	39.212	41.751	45.966	56.525	61.465	69.624	63.989	79.007	52.484	69.757
Concentradora	35.432	30.494	33.180	35.180	38.603	33.116	33.171	39.607	40.098	36.906	48.609
Fundición PP	683.084	561.207	565.187	506.492	537.765	560.529	600.359	604.896	590.907	523.438	523.409
Refinería PP	100.750	103.252	97.057	82.004	108.566	83.010	100.527	80.554	79.395	60.073	59.318
LX-SX-EW PP	242.814	259.362	291.849	289.120	305.260	324.552	384.547	391.691	431.231	441.890	383.944
Servicios PP	367.440	348.661	384.388	322.990	287.079	271.259	323.792	349.496	490.822	382.692	356.576
TOTAL	2.906.822	2.893.936	2.976.529	3.028.594	3.063.279	3.282.781	3.837.419	4.079.709	4.431.280	4.335.323	4.396.555

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

Tabla 19 - Variaciones Porcentuales de las Emisiones de CO₂ eq por Área de Producción

Área	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2001-2011
Mina Rajo	7,8	0,7	11,8	-1,0	12,7	19,3	9,6	6,7	4,3	4,1	105,3
Mina Subte.	3,5	6,5	10,1	23,0	8,7	13,3	-8,1	23,5	-33,6	32,9	84,2
Concentradora	-13,9	8,8	6,0	9,7	-14,2	0,2	19,4	1,2	-8,0	31,7	37,2
Fundición PP	-17,8	0,7	-10,4	6,2	4,2	7,1	0,8	-2,3	-11,4	-0,0	-23,4
Refinería PP	2,5	-6,0	-15,5	32,4	-23,5	21,1	-19,9	-1,4	-24,3	-1,3	-41,1
LX-SX-EW PP	6,8	12,5	-0,9	5,6	6,3	18,5	1,9	10,1	2,5	-13,1	58,1
Servicios PP	-5,1	10,2	-16,0	-11,1	-5,5	19,4	7,9	40,4	-22,0	-6,8	-3,0
TOTAL	-0,4	2,9	1,7	1,1	7,2	16,9	6,3	8,6	-2,2	1,4	51,2

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

Este trabajo fue elaborado por:

Rosana Brantes Abarca

Jorge Ignacio Zeballos V.

Directora de Estudios y Políticas Públicas:

María Cristina Betancour M.

JUNIO 2012