



**“ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGÍA, MEDIANTE MEJORAMIENTOS DE  
LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS DISTINTOS SECTORES”**

Informe Final

Presentado por el

Programa de Estudios e Investigaciones en Energía (PRIEN)  
Instituto de Asuntos Públicos  
Universidad de Chile

Santiago, 28 de enero de 2008

# Índice

1	Introducción .....	5
2	Contenidos del Documento.....	6
3	Objetivos del estudio.....	6
4	Revisión de las experiencias en relación al estudio de Indicadores de Eficiencia Energética ....	7
4.1	Definición de eficiencia energética .....	7
4.2	Desagregación Sectorial de los estudios de Eficiencia Energética .....	7
4.3	Indicadores de eficiencia energética .....	8
4.3.1	Intensidad energética .....	9
4.3.2	Consumo específico .....	11
4.4	Pertinencia de los Indicadores y los métodos de análisis utilizados .....	12
5	Metodología de Desagregación Sectorial.....	14
5.1	Desagregación a nivel macroeconómico .....	14
5.1.1	Sector Industrial .....	14
5.1.2	Sector Minero.....	16
5.1.3	Sector Servicios .....	16
5.1.4	Sector Transporte .....	17
5.1.5	Sector Residencial.....	17
5.2	Desagregación sectorial .....	19
5.2.1	Sector industrial.....	19
5.2.2	Sector Minero.....	21
5.2.3	Sector servicios .....	22
5.2.4	Sector transportes .....	23
5.2.5	Sector Residencial.....	24
6	Metodología de elaboración de Indicadores de Eficiencia Energética .....	27
6.1	Generalidades de la metodología.....	27
6.2	Aplicación a nivel macroeconómico .....	27
6.3	Análisis Sectorial .....	28
6.3.1	Sector Industrial .....	28
6.3.2	Sector Minero.....	29
6.3.3	Sector Servicios .....	33
6.3.4	Sector Transportes .....	34
6.3.5	Sector Residencial.....	34
6.4	Ajuste de los datos .....	36
6.5	Pruebas de aplicación de los Indicadores.....	37
6.6	Comparabilidad de los indicadores .....	38
7	Fuentes de información para la construcción de los indicadores .....	40
7.1	Información de Energía. ....	40
7.2	Información de Actividad .....	40
7.2.1	Valor Agregado. ....	40
7.2.2	Producción física .....	42
7.3	Otras fuentes de Información .....	43
8	Evolución del Consumo de Energía y la Eficiencia Energética en Chile. ....	44
8.1	Análisis Macroeconómico.....	44
8.2	Análisis sectorial .....	49

8.2.1	Sector Industrial .....	49
8.2.2	Sector minero.....	59
8.2.3	Sector servicios .....	71
8.2.4	Sector transporte .....	74
8.2.5	Sector Residencial .....	76
9	Estimación del potencial de mejoramiento de la eficiencia energética.....	80
9.1	Metodología adoptada .....	80
9.2	Análisis de la situación internacional.....	80
9.2.1	Estados Unidos .....	83
9.2.2	Japón .....	84
9.2.3	China.....	85
9.2.4	Alemania .....	85
9.2.5	Canadá.....	86
9.2.6	Reino Unido .....	87
9.2.7	Brasil .....	89
9.2.8	México.....	89
9.2.9	España .....	90
10	Estimación del potencial de mejoramiento de la eficiencia energética asociado a las medidas del PPEE .....	92
10.1	Recambio de motores para uso industrial y minero.....	92
10.2	Reglamentación térmica para viviendas .....	98
10.3	Incorporación de criterios de EE en obras públicas y su mantenimiento .....	103
10.4	Certificación de EE en artefactos domésticos.....	104
11	Potencial Global de Eficiencia Energética en Chile .....	109
11.1	Proyección de los datos energéticos.....	110
11.2	Sector Industrial.....	112
11.2.1	Papel y celulosa .....	114
11.2.2	Siderurgia .....	115
11.2.3	Petroquímica.....	117
11.2.4	Cemento.....	117
11.2.5	Industria azucarera .....	119
11.2.6	Pesca .....	119
11.2.7	Industrias Varias.....	119
11.3	Sector Minero.....	121
11.3.1	Subsector Cobre y otros minerales no ferrosos .....	121
11.3.2	Salitre.....	122
11.3.3	Hierro .....	122
11.4	Sector Servicios (Comercial y público).....	123
11.5	Sector Transporte .....	126
11.5.1	Sector Caminero.....	126
11.5.2	Sector Aéreo .....	130
11.5.3	Sector marítimo .....	131
11.6	Sector Residencial.....	132
12	Resultados finales .....	134
13	Bibliografía.....	137
14	Glosario de Términos Económicos .....	139

Anexo 1: Indicadores basados en métodos de descomposición .....	141
Anexo 2: Utilización de los Métodos de Descomposición.....	146
Anexo 3: Proceso de producción de cobre .....	149

## 1 Introducción

Los países como Chile deben asegurar, desde una perspectiva integral, un uso óptimo de los recursos energéticos, tanto desde la perspectiva del funcionamiento del sistema energético como del desarrollo del país. Específicamente la *eficiencia energética* (o el uso eficiente de la energía, UEE) apunta a entregar los mismos o mayores servicios que la energía presta en todos los ámbitos de la actividad económica, residencial y social (fuerza motriz, calor de alta, media y baja temperatura, calefacción, cocción de alimentos, iluminación, procesos electroquímicos, etc.) utilizando menos energía sin sacrificar el confort o la actividad económica a la que sirve.

Históricamente, se vinculaba el crecimiento económico a un mayor uso de recursos energéticos; sin embargo, esto ha ido variando en las últimas décadas, fundamentalmente desde la crisis energética de los 70's. Es así como, desde 1990, a nivel mundial, el consumo de energía por unidad de Producto Geográfico Bruto (PGB) se ha reducido a razón de 2% por año. Sin embargo, parte importante de esta reducción viene de los países de mayor desarrollo.

La eficiencia energética no es sólo un problema técnico, sino que, en muchos casos, implica una correcta gestión de los sistemas energéticos. En efecto, este desacoplamiento entre el crecimiento económico y la demanda energética, se ha producido, en gran medida, por la introducción de políticas de eficiencia energética motivadas por la escasez de recursos y, más recientemente, por el cuidado del medio ambiente a nivel global. En este escenario, el Programa País de Eficiencia Energética (PPEE), iniciado a principios del año 2005 y coordinado por el Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, tiene como propósito central el construir un sistema nacional de eficiencia energética y de este modo mostrar que el UEE sería uno de los factores que encaminan a las naciones hacia el desarrollo sostenible.

Con la finalidad de dar seguimiento a los cambios en la eficiencia con que los países o áreas de la economía usan la energía, se construyen los indicadores de eficiencia energética. Entre los más usados para describir este proceso se encuentran: los índices económicos, los índices técnico-económicos y los indicadores de ahorro energéticos, los que serán descritos y aplicados a la realidad del país en los capítulos posteriores.

El objetivo del estudio planteado por el Programa País de Eficiencia Energética apunta a establecer las relaciones entre la eficiencia energética y la eficiencia económica a nivel nacional, sectorial y subsectorial, que permitan evaluar la evolución de la eficiencia en el uso de los recursos energéticos, y establecer el potencial teórico de mejoramiento de la eficiencia energética en el país a los tres niveles mencionados.

Los resultados de un trabajo como el solicitado por el Programa País de Eficiencia Energética contribuirán al diseño de políticas de promoción del UEE que apunten a desacoplar el consumo de energía del crecimiento del PIB. Una política de este tipo debe ser consistente y contribuir al logro de la política energética nacional, es decir contribuir a: asegurar la seguridad de suministro, mejorar la productividad de las empresas y el confort de las personas, reduciendo los costos energéticos de producción y de los servicios domésticos que proporciona la energía, la sustentabilidad ambiental y la equidad. Por otro lado, permite realizar una comparación con la situación descrita en el informe:

“Estimación del potencial de ahorro de energía, mediante mejoramientos de la eficiencia energética de los distintos sectores del consumo en Chile”, realizado el año 2004 por encargo de la Comisión Nacional de Energía, lo que permitirá evaluar preliminarmente<sup>1</sup> el impacto de una política de EE más agresiva en comparación con lo realizado por los distintos gobiernos a partir de las crisis energéticas de los 70's.

## 2 Contenidos del Documento

El presente documento corresponde al informe final del estudio “Estimación del potencial de ahorro de energía, mediante mejoramientos de la eficiencia energética de los distintos sectores del consumo en Chile”. Este informe contiene el resultado de la revisión de la literatura especializada aparecida desde la publicación del Informe encargado por la CNE en 2004, una propuesta metodológica para la estimación de los indicadores de eficiencia energética (EE), el resultado del cálculo de dichos indicadores y una estimación del potencial del mejoramiento de la eficiencia energética en el país a nivel sectorial, y en particular el potencial de ahorro de las medidas impulsadas por el Programa País de Eficiencia Energética.

No obstante el presente estudio corresponde a una actualización del trabajo realizado por Santiago consultores en el año 2004, algunos resultados de ambos no son comparables dado que para el cálculo de indicadores que necesitaran información económica se utilizaron bases distintas (base 1996 en el informe de Santiago Consultores y base 2003 en el presente informe).

Sin embargo, a pesar de la diferencia de la base monetaria considerada, pueden compararse sin problemas el indicador consumo específico y toda la información de consumo de energía (composición de las canastas a nivel del sector o subsector y evolución de la demanda).

Cabe señalar que no existe suficiente información oficial en el caso de algunos sectores, lo que obliga a realizar mayores esfuerzos de estimación para la definición de los indicadores, es el caso del sector Transporte y el Sector Servicios.

## 3 Objetivos del estudio

Desarrollo de indicadores de Eficiencia Energética, agregados y sectoriales, que permitan evaluar la evolución del uso de los recursos energéticos, desde el punto de vista de su eficiencia, y aplicar dichos indicadores al período comprendido entre 1990 – 2006. Además, se pretende estimar los potenciales teóricos de mejoramiento de la Eficiencia Energética de los distintos sectores y subsectores del consumo en Chile.

---

<sup>1</sup> Los esfuerzos sistemáticos en este campo tienen poco más de dos años, lo que es un tiempo demasiado breve como para sacar conclusiones cuantitativas que sean concluyentes

## 4 Revisión de las experiencias en relación al estudio de Indicadores de Eficiencia Energética

En el estudio llevado a cabo, en 2004, por Santiago Consultores, con la colaboración del PRIEN, para la CNE, se consideró una serie de indicadores específicos. Como se menciona más adelante, luego de haber realizado una exhaustiva revisión de la literatura especializada más reciente, es posible concluir que no se han producido variaciones en la manera de evaluar el grado de eficiencia en el uso de la energía de un país dado. Por lo tanto, en el presente estudio se utilizan los mismos indicadores que en el mencionado trabajo, sin embargo, para la mejor comprensión del porqué de su uso y la manera de calcularlos es que se incluye la metodología de cálculo para cada uno de ellos.

### 4.1 Definición de eficiencia energética

De acuerdo con WEC<sup>2</sup> 2004, el término eficiencia energética se refiere a todos los cambios que se traducen en la disminución de la cantidad de energía utilizada para producir una unidad de actividad económica (por ejemplo, energía utilizada por unidad de PIB o valor agregado) o para satisfacer las necesidades energéticas residenciales manteniendo un determinado nivel de confort.

Por lo tanto, la eficiencia energética está asociada con la eficiencia económica e incluye cambios tecnológicos, económicos y en el comportamiento de la población.

### 4.2 Desagregación Sectorial de los estudios de Eficiencia Energética

En la publicación World Development Indicators del el Banco Mundial, año 2007, se definen 3 grandes sectores en la economía: Servicios, Agricultura e Industria<sup>3</sup>. Por lo tanto, no resulta extraño que el estudio de indicadores de eficiencia energética de la APEC (APEREC, 2006) utilice este mismo nivel de desagregación para llevar a cabo un análisis macroeconómico de la situación de diferentes países de la APEC considerados en dicho estudio.

Por otro lado, el estudio de indicadores del Consejo Mundial de Energía (WEC, 2004) realiza una desagregación en la cual separa el consumo de energía en consumos: industriales, transporte, residenciales y centros de transformación.

En los análisis sectoriales, la industria manufacturera es el denominador común de los estudios de eficiencia energética y dentro de ellas se encuentran, generalmente, la industria del hierro y el acero, pulpa y papel y la industria del cemento. En la minería se trata separadamente las faenas mineras de las de refinación (consideradas parte de la industria), específicamente se destacan el Cobre y el Aluminio, por sus importantes consumos energéticos. Los análisis de eficiencia energética en los sectores Transporte, Residencial y Servicios, son más escasos principalmente debido a que, aún

---

<sup>2</sup> World Energy Council

<sup>3</sup> En el sector industrial se consideran los ítems 10 al 45 de ISIC. El sub sector "manufacturas" aparece mencionado aparte, como un subconjunto del sector industrias y contempla los ítems 15 al 37 de ISIC.

cuando existen importantes consumos de energía en ellos, las metodologías se vuelven más ambiguas en cuanto a la explicación de las variables que determinan la evolución de la eficiencia energética.

### 4.3 Indicadores de eficiencia energética

Comúnmente la Eficiencia Energética de un país sector o subsector productivo es evaluada a través de los llamados *Indicadores de Eficiencia Energética* que permiten medir “cuán bien” se utiliza la energía para producir una unidad de producto (APEREC, 2004). Los Indicadores de Eficiencia Energética adoptan diferentes formas dependiendo de los objetivos buscados, de modo que existen indicadores económicos, tecno-económicos o indicadores de ahorro energético.

Cuanto mayor sea el nivel de agregación a la hora de construir indicadores, por ejemplo a nivel macroeconómico, estos indicadores pueden englobar diversos efectos, siendo uno de ellos la eficiencia energética, de manera que por ejemplo, una disminución en el indicador de intensidad energética agregada en el tiempo no necesariamente significa que ha mejorado la eficiencia energética, ya que otros factores tales como la reducción de la importancia relativa de los sectores más energía-intensivos (lo que se entenderá en el contexto del estudio como un cambio estructural), y otras mejoras de eficiencia no relacionadas con la energía, también pueden haber contribuido a un cambio de la intensidad energética.

Figura 1: Relación Nivel de Desagregación Indicadores de Eficiencia



<sup>4</sup> Este autor ha sido citado en numerosas publicaciones posteriores, siendo una de las importantes, una publicada por APERC (2000), “Energy Efficiency Indicators: A study of Energy Efficiency Indicators for Industry in Apec Countries”.

Por otro lado, a medida que el nivel de desagregación aumenta, la influencia de los cambios estructurales se reduce y, por lo tanto, es posible identificar las variables que afectan a la eficiencia energética y comprender de mejor manera la evolución en los consumos agregados de energía. Sin embargo, mientras más desagregado sea el análisis, mayor será la cantidad y calidad de información necesaria para realizarlo, la que normalmente no está disponible.

#### 4.3.1 Intensidad energética

Los índices económicos se utilizan cuando la eficiencia energética se evalúa a niveles agregados, por ejemplo al nivel del país o de un sector o subsector de la economía. La Intensidad Energética (IE) es conocida como uno de los indicadores de índole económica, según WEC, 2004, se refiere a la relación existente entre consumo energético (incluida la biomasa) y su PIB, es decir, mide la cantidad de energía que es necesaria para generar una unidad de PIB. Para esto es necesario analizar la influencia de muchos factores: la naturaleza de la actividad económica del país, la estructura de la mezcla de energía, y, por último, la eficiencia energética. La IE puede expresarse según la razón: Tcal/PIB, Tep/PIB del sector o GJ/VA de la rama, es decir:

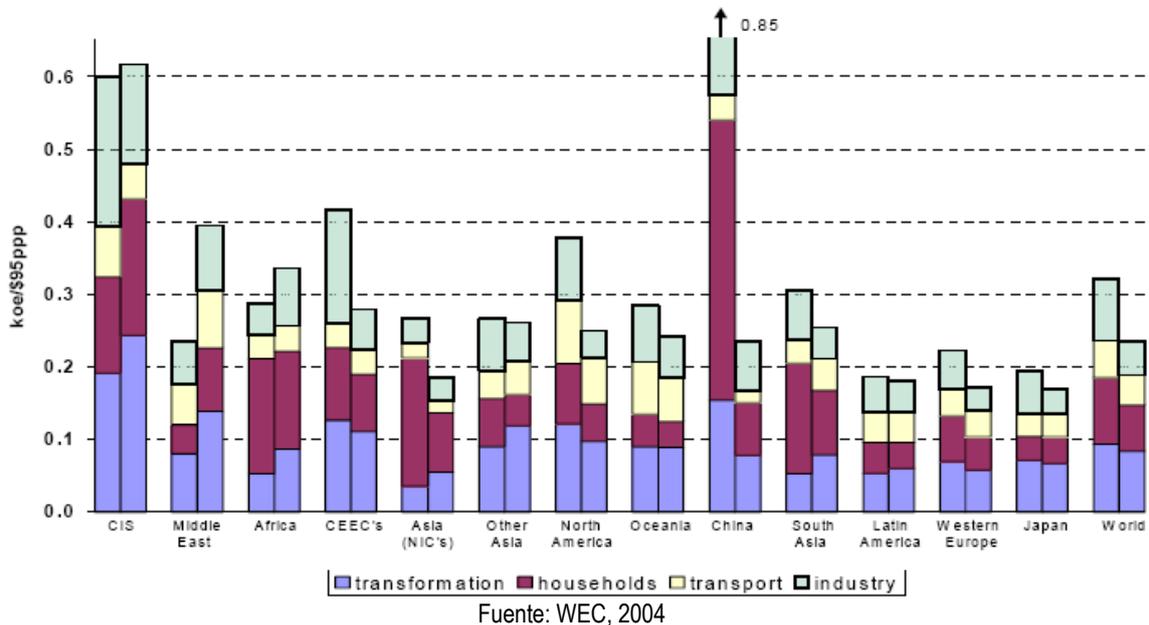
$$IE_t = \frac{CE_t}{P_t} \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

- $IE_t$  : Intensidad energética en el año t
- $CE_t$  : Consumo de energía en el año t (en unidades energéticas, Tcal, TJ, Tpe, etc.)
- $P_t$  : Producto total. (En unidades monetarias, millones de USD o EUROS, etc.)

Para realizar los cálculos es de vital importancia definir si se considera como consumo de energía (CE) el consumo de energía primaria o el consumo de energía secundaria o final. Si se considera energía primaria, es posible que la variación de la IE calculada pueda asociarse a cambios en la matriz energética y/o a cambios en la eficiencia de conversión de la oferta de energía, muy especialmente en la generación eléctrica, por lo que indicadores que consideren la energía primaria no son aconsejables (PRIEN, 2003). Por otro lado, al utilizar energía primaria en la elaboración de indicadores de eficiencia energética no se contabilizaría toda la energía consumida internamente pues se excluirían de los análisis los consumos de energéticos secundarios importados y consideraría los energéticos exportados (por ende, no consumidos en el país).

Figura 2: Intensidad Energética Primaria por sector 1980 - 2002<sup>5</sup>



En la Figura 2 es posible apreciar la variación sectorial de la intensidad energética entre los años 1980 y 2002 (la primera barra corresponde a la situación en 1980 y la segunda a la situación del año 2002), para algunos países del mundo, sin embargo, debe considerarse que ésta ha sido definida en función de la energía primaria y que no se ha aislado los efectos antes mencionados, por lo tanto, la disminución en la intensidad energética no necesariamente está asociada a conductas eficientes, pero, aun así, proporciona una primera aproximación para dar cuenta de la situación a nivel mundial.

Es importante destacar que la figura anterior muestra la importancia de las variaciones en el consumo de energía por parte de los centros de transformación.

Finalmente, es importante dejar en claro que al realizar un análisis de las tendencias de la eficiencia energética a través del indicador IE, se debe tomar en cuenta que la evolución del monto de energía consumida en un país depende de una serie de cambios, éstos son:

- cambios en la actividad económica (valor agregado (VA), población área construida, toneladas – km transportadas, etc)
- cambios en la estructura de la economía (estructura industrial, estructura modal del transporte, grado de saturación de los artefactos domésticos, entre otros)
- cambios en la intensidad energética (modificación de procesos productivos, implementación de medidas de UEE, etc.)

<sup>5</sup> Precios comparados utilizando "Paridad de Poder de Compra" (purchasing power parities: ppp en inglés). Todos los valores transformados a Dólares Americanos equivalentes del año 1995. Se utilizaron las siguientes traducciones: Koe=Kep: Kilogramos Equivalentes de petróleo, transformation = Centros de transformación, households = residencial, transport = transporte, industry = Industria.

A pesar de que los indicadores agregados presentan limitantes, son útiles a la hora de analizar los impactos y eficacia de las políticas públicas destinadas a promover las tecnologías que sean eficientes energéticamente y las prácticas del buen uso de la energía.

#### 4.3.2 Consumo específico

Cuando el análisis se realiza a niveles lo suficientemente desagregados (por sub ramas o usos finales) es posible utilizar índices técnico – económicos. Estos índices relacionan energía consumida con niveles de actividad de la sub rama o del uso final, expresado en unidades físicas como por ejemplo, toneladas de acero, pasajeros – kilómetro, m2 de viviendas o edificios calefaccionados, entre otros.

El consumo que da cuenta del consumo de energía con respecto a la Producción Específica es el *Consumo Específico*. Según Odyssee<sup>6</sup>, éste se utiliza en un nivel más desagregado (por subsectores, uso final) y se define como el consumo de energía en relación a un indicador de actividad medido en términos físicos (toneladas de acero, el número de kilómetros de vehículos, etc) o de Unidad de consumo (vehículos, vivienda, etc.). Dado el nivel de desagregación usado en la construcción de este indicador, es posible eliminar distorsiones asociadas a cambios en la estructura del universo consumidor de energía.

A la hora de realizar un análisis de eficiencia energética considerando consumo específico es importante tener en cuenta el efecto de la tercerización de las actividades (subcontratación de servicios) sobre el consumo de energía y, por lo tanto, sobre el indicador construido. Por lo tanto, al llevar a cabo comparaciones de los consumos específicos es necesario tener cuenta que este indicador se asocia a procesos productivos más que a productos, así por ejemplo, no es posible comparar la eficiencia energética relativa de la producción de una tonelada de acero producida a partir de chatarra de acero respecto de la producción de acero producida a partir de mineral de hierro.

Se ha mencionado la influencia de los cambios en la estructura de la producción en el cálculo de indicadores de eficiencia energética, por lo tanto, es necesario tener un método que independice la evolución de los indicadores de eficiencia de los cambios estructurales a nivel productivo y económico en el país. Para esto se utiliza el denominado *Análisis de descomposición*. Las decisiones que implica y la metodología asociada son mostradas en extensión en el Anexo 1.

Básicamente, la idea es llegar a que la variación de la Intensidad Energética  $\Delta I$ , resulta ser la suma de dos efectos principales, una componente estructural y otra de Intensidad Energética pura, como en la ecuación siguiente:

$$\Delta I = I_T - I_0 = \Delta STR + \Delta INT_p + R$$

---

<sup>6</sup> ODYSSEE es un proyecto creado por ADEME (Agencia Francesa del Medio Ambiente y Manejo de Energía), el EIE programme (Intelligent Energy Europe – Energía Inteligente para Europa) de la comisión a cargo de la Energía perteneciente a la Unión Europea y las agencias de Eficiencia Energética en la UE.

donde:

$\Delta I$ : variación de la Intensidad Energética  
 $I_T$ : Intensidad energética al año T  
 $I_0$ : Intensidad energética en el año base  
 $\Delta STR$ : Variación estructural  
 $\Delta INT_p$ : Variación Intensidad energética pura  
 $R$ : Resto

O bien, trabajar con el consumo de energía y descomponer su variación  $\Delta E$ . Esta descomposición resulta típicamente en tres componentes: Una componente de actividad o producción, una componente estructural, y una componente de intensidad energética. A estos tres efectos se suma un resto ( $R$ ), el que puede ser interpretado como el aporte a  $\Delta E$  que se asocia a la interacción de los efectos principales.

$$\Delta E = E_T - E_0 = \Delta ACT + \Delta STR + \Delta INT + R$$

donde:

$\Delta E$ : Variación del consumo de energía  
 $E_T$ : Consumo de energía al año T  
 $E_0$ : Consumo de energía en el año base  
 $\Delta ACT$ : Variación de la actividad (o producción)  
 $\Delta STR$ : Variación estructural  
 $\Delta INT$ : Variación Intensidad energética  
 $R$ : Resto

#### 4.4 Pertinencia de los Indicadores y los métodos de análisis utilizados

Existe un método de descomposición que aplicado a nivel subsectorial permite descomponer el consumo de energía tomando en cuenta el efecto de los cambios de Actividad, Estructura e Intensidad (ver Cuadro 38, Anexo 1), asociando cada uno de estos efectos a las modificaciones en la canasta de energéticos utilizados por el subsector analizado. De esta manera, una modificación en la canasta de energéticos, en la que combustibles más eficientes como es el caso del gas natural o la electricidad, reemplacen a combustibles que se asocian a menores rendimientos de conversión como la leña o petróleos combustibles, se entiende como un cambio tecnológico que tiende a reducir la demanda de energía. Así se plantea en distintas publicaciones (Karakaya y Hozçağ ,2005; Ma y Stern, 2006), donde se explicita que un cambio en el tipo de energético, y en consecuencia, de eficiencia de éste, presenta un impacto tecnológico en el consumo Energético. Esta situación se relaciona directamente con una variación en la Intensidad Energética al momento de realizar un análisis por descomposición. De este modo, la intensidad energética depende de tres factores principales: el tipo de energético utilizado, cambios tecnológicos y cambios estructurales. Sin embargo, en ciertos estudios no se considera el cambio de energético en forma independiente para poder simplificar las expresiones de alta complejidad del proceso de descomposición (Ma y Stern, 2007).

En este mismo sentido Mallika, (1998), afirma que la selección del método de descomposición depende de los objetivos del estudio. Así por ejemplo si el objetivo del estudio es analizar la evolución de la intensidad energética o del consumo de energía, recomienda el uso del valor 0 o 0,5 para los parámetros de manera de poner mayor peso a los que sucedió en el año de base o distribuir el peso respectivamente. Además recomienda el uso del PDM1 en caso que las variables se relacionen de forma logarítmica y el PDM2 en el caso que la relación sea lineal.

En relación a la elección entre realizar un análisis de descomposición del consumo de energía o de la intensidad energética, Mallika (1998) afirma que es una elección subjetiva que dependerá de quien realice el análisis, a modo de ejemplo, en APERC, 2001, al realizar el análisis agregado se opta por la descomposición de Laspeyres del consumo de energía (Ec. 7), debido a que permite separar el efecto de la actividad además del efecto estructural de las variaciones en la Intensidad energética. En el caso del estudio realizado por el WEC, 2001, se utiliza preferentemente la desagregación de la Intensidad Energética (separada en sus efectos de intensidad pura y estructura), sin embargo, no se especifica que método de descomposición se utiliza.

Lo mismo ocurre en el caso de escoger un método de descomposición o indicadores físicos con el objetivo de aislar la eficiencia energética de los cambios estructurales. La elección depende principalmente de quien realice el análisis y de la disponibilidad de la información requerida para hacer un análisis específico por ramas industriales.

## 5 Metodología de Desagregación Sectorial

El presente estudio, revisión y actualización del trabajo realizado para la Comisión Nacional de Energía en 2004, titulado “Estimación Del Potencial De Ahorro De Energía, Mediante Mejoramientos De La Eficiencia Energética De Los Distintos Sectores Del Consumo En Chile”, mantiene los 2 niveles de análisis de la evolución de la eficiencia energética. Esto es: un análisis macroeconómico a nivel nacional, considerando la economía en su conjunto y, en segundo lugar, un análisis sectorial y subsectorial en que se incluyen los sectores claves en el consumo de energía a nivel nacional.

Para ambos niveles de desagregación, la información energética base es la proporcionada por los Balances Energéticos de la Comisión Nacional de Energía. Por otro lado, la información de carácter económico es obtenida, en su mayoría, de las Cuentas Nacionales del Banco Central, sin embargo, en algunos casos, el nivel de desagregación de las Cuentas Nacionales no es suficiente para llevar a cabo los análisis en algunos sectores, por lo tanto, se recurre en estos casos a la Matriz Insumo Producto (MIP), información que también es elaborada por el Banco Central.

### 5.1 Desagregación a nivel macroeconómico

A nivel internacional se acostumbra desagregar la información macroeconómica en los sectores agricultura, industria y servicios, lo cual permite dar cuenta de los cambios estructurales en la economía. En el caso de Chile, no se cuenta con estadísticas detalladas del consumo de energía del sector agrícola, por cuanto este no se caracteriza por ser un sector energo - intensivo. En consecuencia, no es posible realizar la separación de los cambios estructurales en la economía de la forma descrita previamente.

Desde el punto de vista de la cadena energética, se adoptará como referencia el consumo energético secundario, con ello se obvian los problemas descritos anteriormente (importaciones, exportaciones, etc.) así como la consideración de los consumos de energéticos que son insumos industriales, como por ejemplo, el gas natural en las plantas de Metanol.

Atendiendo al hecho que Chile es un país esencialmente minero es que se opta por separar la macroeconomía en los sectores siguientes: Industrial, Minero, Transporte, Servicios y Residencial.

Como el primer nivel de desagregación ha sido establecido ya, es necesario definir cada uno de los sectores mencionados según la clasificación energética y económica existente en el país.

#### 5.1.1 Sector Industrial

Energéticamente, según la clasificación del Balance Nacional de Energía elaborado por la Comisión Nacional de Energía (CNE), la industria y la minería son agrupadas bajo una misma clasificación general denominada “Industrial y Minero”, de esta manera, se considera como Industria a los subsectores:

- Papel y Celulosa
- Siderurgia
- Petroquímica
- Cemento
- Azúcar
- Pesca
- Industrias Varias.

Económicamente, según la clasificación establecida por el Balance de Cuentas Nacionales elaborado por el Banco Central de Chile, el sector Industrial definido en el contexto del presente estudio, se referirá a los ítems: Agropecuario-silvícola, Pesca e, Industria Manufacturera menos el valor agregado del ítem Refinería de Petróleo (ítem 33: elaboración de combustible de la matriz insumo producto (MIP) del año 2003, ítem 33: elaboración de combustible para la MIP del año 1996, ítem 26: refinación de petróleo en la MIP del año 1986), de las estadísticas de Producto Interno Bruto por clase de actividad económica.

La revisión 3 de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) establece que dentro de la categoría de Industria manufacturera se encuentran los sectores mostrados en el Cuadro 1. Para mejor comprensión de la clasificación dada a cada sector industrial en el país, se muestra además en este cuadro, el sector al que pertenece cada una de las ramas industriales.

Un problema que podría producirse con la desagregación antes descrita, es que los consumos de energía del sector Agrícola podrían estar repartidos en varios sectores, por ejemplo el Industrial, bajo el ítem "Industrias Varias" y el Transporte bajo "Transporte Caminero" del Balance Nacional de Energía (CNE), sin embargo, el error introducido no es significativo debido a la baja importancia relativa de este sector en el consumo energético nacional.

Cuadro 1: Industria Manufacturera, sectores considerados según Clasificación Industrial Internacional Uniforme CIIU, Revisión 3

Clasificación Industrial Internacional Uniforme CIIU, Revisión 3	Ítem que lo contabiliza en este informe
15. Elaboración de productos alimenticios y bebidas	Azúcar
21. Fabricación de papel y de productos de papel	Papel y celulosa
24. Fabricación de sustancias y productos químicos	Petroquímica
25. Fabricación de productos de caucho y plástico	
26. Fabricación de otros productos minerales no metálicos	Cemento
27. Fabricación de metales comunes	Siderurgia
16. Elaboración de productos de tabaco	Industrias varias
17. Fabricación de productos textiles	
18. Fabricación de prendas de vestir, adobo y teñido de pieles	
19. Curtido y adobo de cueros; fabricación de maletas, bolsos de mano, artículos de talabartería y cuarnicionería, y calzado	
20. Producción de madera y fabricación de productos de madera y corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de paja y de materiales trenzables	
22. Actividades de edición e impresión y de reproducción	

de grabaciones	
23. Fabricación de coque, productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear	
28. Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo	
29. Fabricación de maquinaria de uso general	
30. Fabricación de maquinaria de oficina, contabilidad e informática	
31. Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos n.c.p.	
32. Fabricación de equipo y aparatos de radio, televisión y comunicaciones	
33. Fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión y fabricación de relojes	
34. Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques	
35. Fabricación de otros tipos de equipo de transporte	
36. Fabricación de muebles; industrias manufactureras n.c.p.	
37. Reciclamiento	

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.2 Sector Minero

De acuerdo con el Balance Nacional de Energía (CNE), el sector Minero incluye los subsectores Cobre, Salitre, Hierro y Minas Varias, de la clasificación "Industrial y Minero". Económicamente, el sector Minero corresponde al ítem Minería del Balance de Cuentas Nacionales del Banco Central. Este balance considera los subsectores "Cobre" y "Resto".

### 5.1.3 Sector Servicios

De acuerdo con el Balance Nacional de Energía, el sector Servicios considera los sectores Comercial y Público de la clasificación "Comercial, Público y Residencial"; Electricidad (Servicio Público y Autoproductores) y Petróleo y Gas Natural pertenecientes a "Centros de Transformación". Se excluyen los subsectores Gas, Coke y Gas Natural-Metanol también pertenecientes a Centros de Transformación, debido a que sus consumos de energía no se utilizan con fines energéticos.

Económicamente, el sector Servicios estará compuesto por todos los ítems del producto interno bruto nacional, no considerados en los sectores Industrial y Minero, estos son:

- Electricidad, Gas y Agua
- Refinería de Petróleo
- Construcción
- Comercio, Restaurantes y Hoteles
- Comunicaciones
- Servicios Financieros y Empresariales
- Propiedad de vivienda
- Servicios Personales

- Administración Pública
- Imputaciones Bancarias

#### 5.1.4 Sector Transporte

De acuerdo con el Balance Nacional de Energía (CNE), el sector Transporte incluye los consumos de energía del Transporte Caminero, Ferroviario, Marítimo y Aéreo nacional.

Económicamente, el sector Transporte corresponde al ítem del Balance de Cuentas Nacionales con el mismo nombre, sin embargo, para realizar un mejor análisis es que se separa el subsector “transporte caminero” del resto. La separación se realiza considerando la información del valor agregado del ítem en la matriz insumo producto (1986 para los años 1990 a 1995, 1996 para los años 1996 a 2002 y 2003 para los años 2003 a 2005).

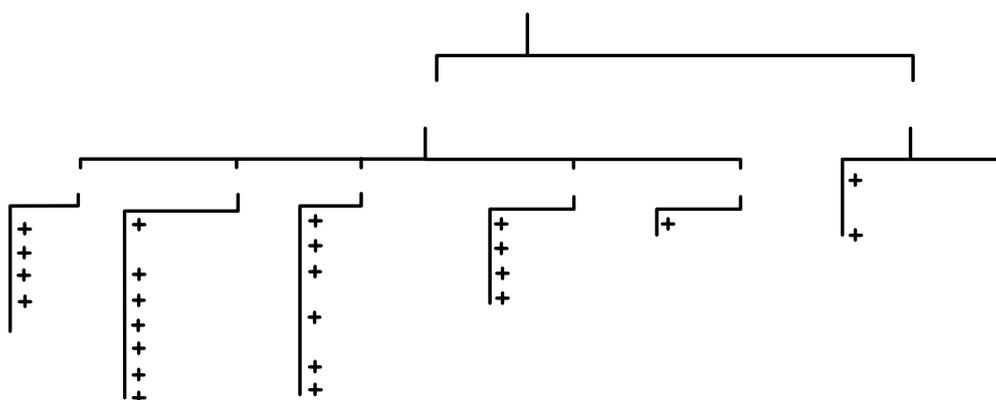
#### 5.1.5 Sector Residencial

La información energética para este sector es la que aparece en el Balance de Energía bajo el nombre de “Residencial”. En importante destacar, en este punto, que el consumo de combustibles para vehículos particulares está considerado en el ítem “transporte”, por lo tanto, no es posible realizar un análisis a nivel del parque vehicular particular.

La actividad económica del sector residencial no es considerada en la desagregación del PIB por clase de actividad económica, sino que como parte del gasto del Producto Interno Bruto, definido como “Gasto en Consumo final de hogares e instituciones privadas sin fines de lucro”, bajo la especificación de Demanda interna del Anuario de Cuentas Nacionales del Banco Central

En resumen, la desagregación sectorial del consumo de energía se muestra en la Figura 3.

Figura 3: Distribución del consumo de energía a nivel macroeconómico<sup>7</sup>



<sup>7</sup> En el sector servicios se consideran sólo los consumos propios de los centros de transformación.

Al año 2006 el consumo de energía determinado como “consumo no energético” alcanzó al 9% del total nacional y el “consumo energético” fue, por tanto, de un 91%. Los indicadores de eficiencia energética se construyen con respecto a este último consumo, el cual se distribuye sectorialmente de la manera que se muestra en el Cuadro 2, para los sectores definidos.

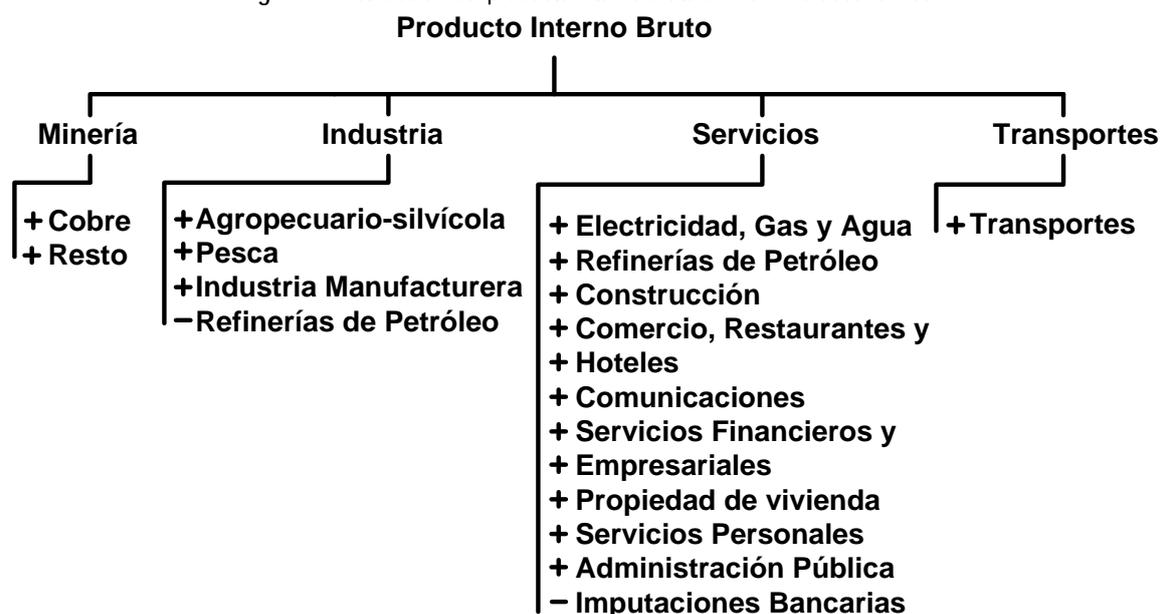
Cuadro 2: Distribución del Consumo de Energía según la desagregación sectorial elegida, año 2006

Sector	Consumo de Energía (Tcal)	Participación en el Consumo Total Nacional
Industrial	53.915	18,65%
Minero	31.712	10,97%
Servicios <sup>8</sup>	71.846	24,85%
Transporte	81.526	28,20%
Residencial	50.062	17,32%
Totales	289.061	100,00%

Fuente: Elaboración propia

Económicamente, la información de valor agregado se desagrega según la figura siguiente.

Figura 4: Distribución del producto interno bruto a nivel macroeconómico



Nota: El sector Residencial no se considera en la desagregación del PIB por clase de actividad económica (mostrada en la figura), sino como parte del Gasto del Producto Interno Bruto.

Finalmente, se aclara que el ítem referido al IVA Neto Recaudado fue repartido proporcionalmente entre los sectores Industrial, Servicios y Transporte. El sector Minero se supuso exento de IVA por

<sup>8</sup> En el sector servicios se consideran sólo los consumos propios de los centros de transformación.

cuanto prácticamente el total de su producción es exportada. Del mismo modo, el ítem Derechos de Importación fue prorrateado entre los cuatro sectores según su nivel de actividad económica. La razón fundamental de esta distribución es completar la totalidad del Producto Interno Bruto Nacional lo que mejora la posibilidad de comparar cifras.

De esta manera, se tiene que la distribución del producto (valor agregado) de cada uno de los sectores así definidos se desagrega de la siguiente manera:

Cuadro 3: Distribución del Producto Interno Bruto según la desagregación sectorial elegida, año 2006

Sector	Valor Agregado (Millones de \$ de 2003)	Participación en el PIB (%)
Industrial	13.111.638	22,00%
Minero	4.543.524	7,62%
Servicios	37.417.037	62,79%
Transporte	4.516.619	7,58%
<b>Total</b>	<b>59.588.819</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia, en base a datos publicados por el Banco Central las Cuentas Nacionales

El gasto del Producto Interno Bruto asociado al sector residencial alcanzó en 2006 a 39.706.241 millones de pesos de 2003, lo que corresponde al 66,6% del gasto nacional.

## 5.2 Desagregación sectorial

Para llevar a cabo un análisis sectorial se toman en cuenta los mismos sectores considerados en el análisis macroeconómico, es decir los sectores: Industrial, Minero, Servicios, Transporte y Residencial. Para el análisis sectorial del sector industrial sólo se consideran algunas industrias importantes. Esta selección implica que a la hora de realizar el análisis no se considera toda la energía consumida por el sector, pero sí una porción importante de él. Por parte de la información económica, no se incorpora el IVA y los derechos de importación, consiguiendo con esto, considerar solo el valor agregado de cada subsector considerado.

Los criterios de selección de los subsectores a ser considerados son: a) la representatividad en el consumo de energía, b) la representatividad en el producto nacional, y c) la disponibilidad de la información y su acceso periódico. Lo anterior asegura representatividad de los indicadores calculados y facilidad de actualización del estudio.

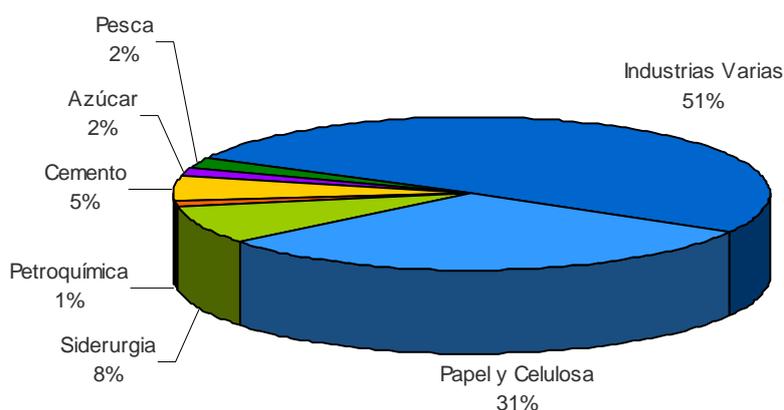
### 5.2.1 Sector industrial

En este sector, los consumidores más importantes son las empresas del rubro "Papel y Celulosa" y "Siderurgia", adicionalmente destacan y las industrias del cemento, la pesca y el azúcar algo menos significativas en lo que a consumo de energía. Ver la Figura 5.

Por otra parte, el 51% del consumo del sector corresponde a la denominación de "industrias varias", ellas no serán consideradas para análisis particulares, dada la diversidad de rubros que caen dentro de este grupo.

A su vez, el sector petroquímico no será considerado al realizar los análisis debido a que sus consumos de energía no son representativos a nivel nacional además del hecho que las estadísticas asociadas al subsector no se encuentran desagregadas.

Figura 5: Distribución del consumo de energía para el sector industrial, 2006

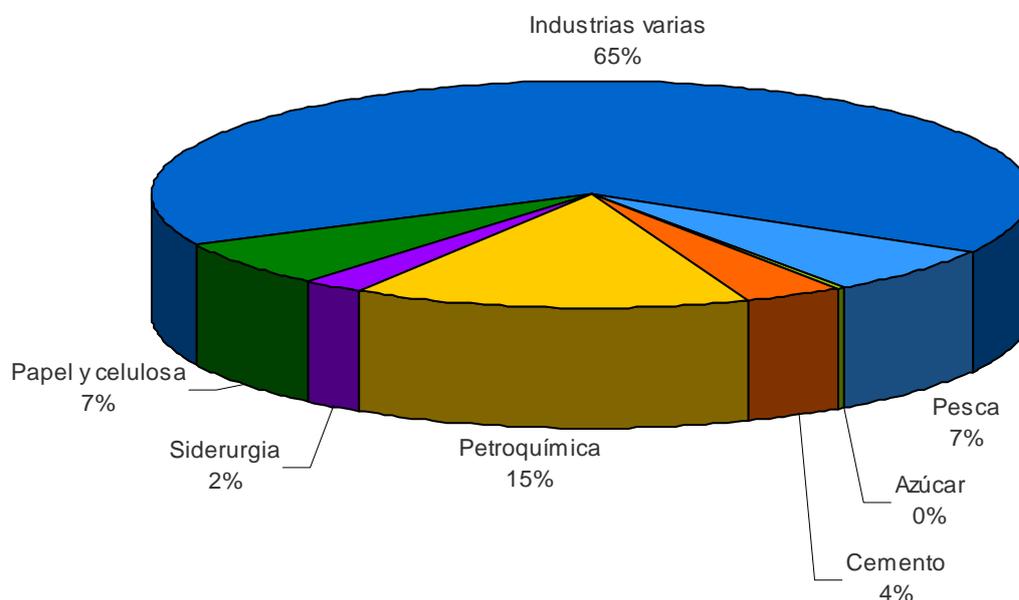


Fuente: Balance energético de la CNE, 2006

Desde el punto de vista económico los sectores más importantes no son los de mayor consumo energético, por ejemplo, la industria petroquímica, la que es responsable del 1% del consumo de energía, sin embargo, el valor agregado del sector corresponde al 15% del valor agregado del sector industrial.

Para apreciar el aporte de cada subsector al valor agregado del sector industrial se muestra la Figura 6, la cual fue construida en base a la matriz insumo producto del año 2003 publicada por el Banco Central.

Figura 6: Valor agregado del sector industrial, distribución por subsectores



Fuente: MIP del año 2003, Banco Central

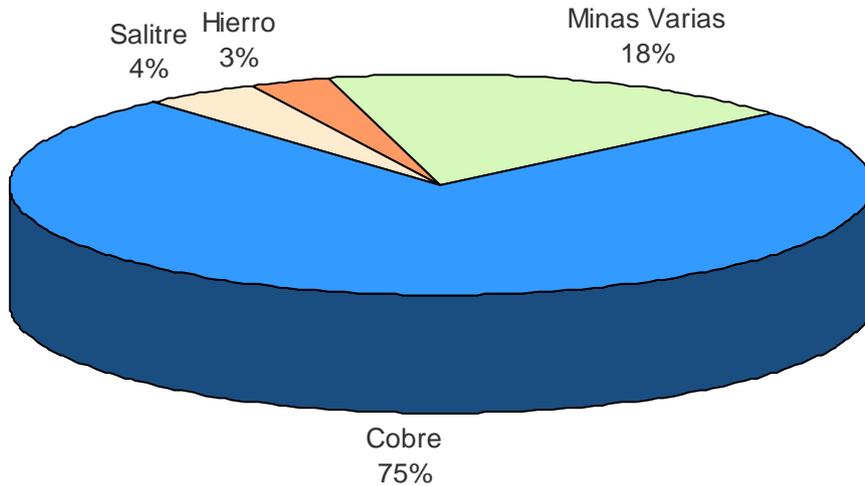
## 5.2.2 Sector Minero

En el sector minero, la mayor parte del consumo de energía está asociado a la minería del cobre. En efecto, dicho subsector consume el 75% del total de la energía del sector. Es por esta razón que el análisis se centra en la minería del cobre, considerando al resto de las actividades como "Resto".

En la Figura 7 es posible apreciar el consumo de energía para cada subsector considerado en el Balance Nacional de Energía de la CNE para el año 2006.

Con respecto a la participación en la economía, el aporte del sector minero alcanza al 7,6% del PIB nacional y en el sector minería, el subsector más importante es la minería del cobre, cuyo aporte para el VA del sector alcanza al 82,17%.

Figura 7: Distribución del consumo de energía en la minería



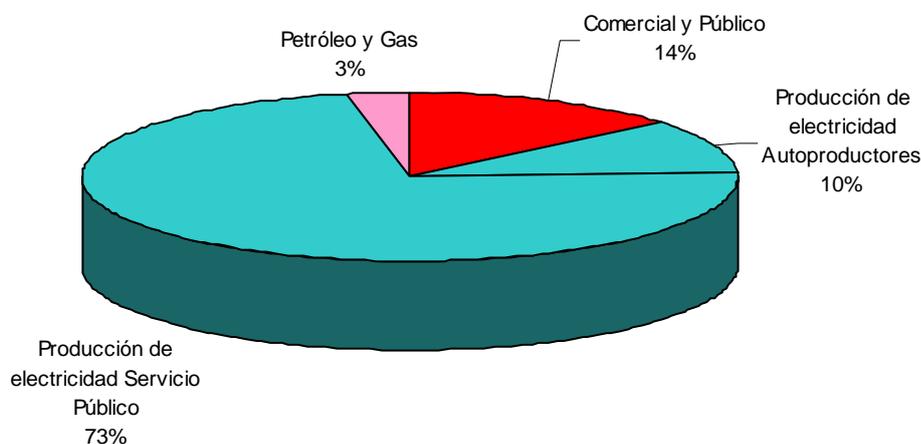
Fuente: Balance Nacional de Energía 2006, CNE

### 5.2.3 Sector servicios

Dentro de este sector se consideran como consumidores de energía, el sector “Público y Comercial” y los Centros de Transformación “Electricidad” y “Petróleo y Gas”.

Es importante detenerse en el tratamiento que se les dará a los Centros de Transformación. Éstos requieren un tratamiento especial al analizar el problema de la eficiencia energética. En efecto, dentro de los Centros de Transformación la industria del Metanol aparece incluida en el Balance de Energía (CNE) como un sector relevante en el consumo energético, sin embargo, la casi totalidad de este consumo es destinado a usos no energéticos, ya que el gas natural se utiliza como un insumo para la producción de Metanol. De esta manera los consumos de energía asociados a la producción de Metanol no serán considerados en el análisis sectorial. Algo similar ocurre en la industria del Gas Corriente y el Coke utilizados en la Siderurgia, debido a que el coke se utiliza básicamente como reductor y marginalmente como insumo energético, de esta manera, este segmento tampoco será considerado en el análisis de eficiencia energética. Finalmente, los consumos de energía en la producción de carbón y leña no serán considerados debido a que son despreciables frente a los demás consumos lo que permitirá simplificar los resultados.

Figura 8: Distribución del consumo de energía por cada subsector del sector servicios



Fuente: Balance Nacional de Energía 2006, CNE

La Figura 8 muestra la división de consumos de energía en el sector servicios. En ella se puede apreciar que el subsector “Electricidad” alcanza el 83% del consumo total de energía del sector (10% para autoprodutores y 73% para Servicio público), en cambio, el sector “Comercial y Público” alcanza sólo el 14% y el restante 3% corresponde a “Petróleo y gas”.

Por el lado económico se puede decir que la distribución porcentual del VA de cada subsector es muy distinta a la distribución porcentual del consumo de energía. Para el subsector “Comercial y Público” el VA corresponde a 93,1% del total del sector, en cambio, los sectores electricidad y “Petróleo y gas” aportan con un 3,42% y un 3,48% cada uno.

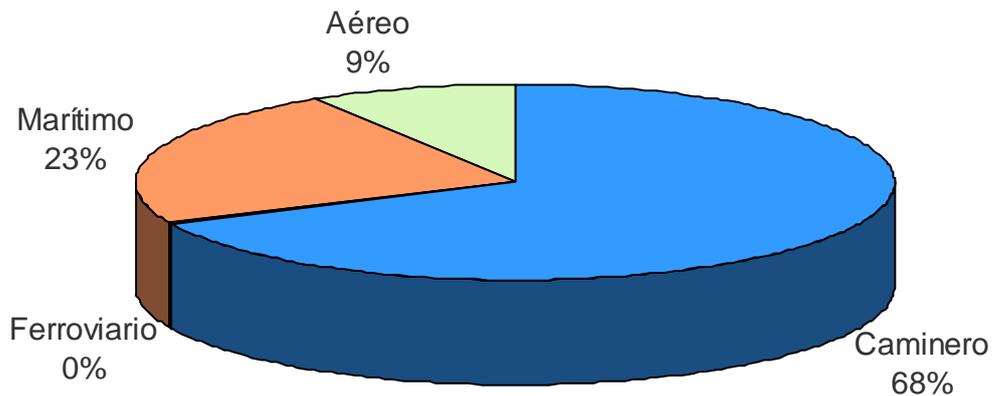
Es importante destacar que este sector consume un 46% de la energía requerida a nivel nacional y aporta con un 69,79% del PIB nacional.

#### 5.2.4 Sector transportes

Una situación similar a la encontrada en el sector minero se advierte en el Transporte, en donde el 68% del consumo de energía se concentra en el Transporte Caminero, de manera que el análisis sectorial se concentrará en el transporte de personas y carga. Dado que las estadísticas energéticas del país no permiten realizar la separación entre el transporte de pasajeros y el de carga estos deberán ser tratados en forma agregada.

Nuevamente este sector ilustra el hecho que los sectores más energointensivos no son aquellos que entregan más aportes al producto nacional, en el caso del sector Transporte, este representa sólo un 7,58% del PIB en contraste con el 28,2% del consumo energético nacional.

Figura 9: Distribución del consumo de energía en el sector transporte

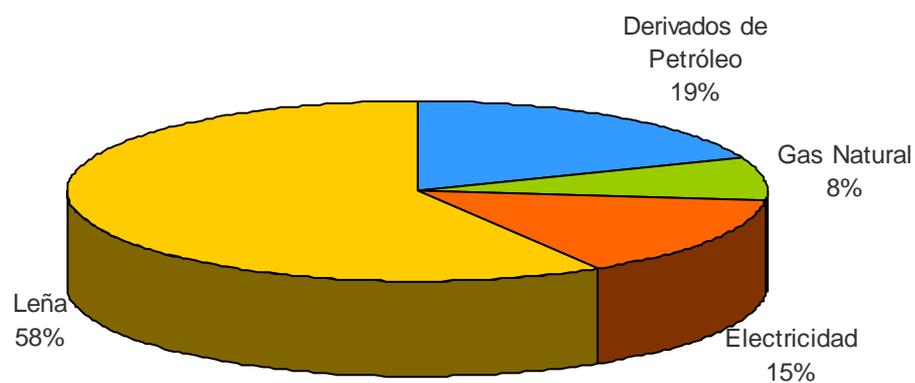


Fuente: Balance Nacional de Energía 2006, CNE

### 5.2.5 Sector Residencial

En el año 2002 el consumo de energía del sector residencial representó el 17,32% del consumo de energía a nivel nacional. El consumo de este sector se encuentra muy concentrado en la leña como principal energético, brindando este combustible un 58% del total de la energía consumida por los hogares del país, como es posible apreciar en la Figura 10.

Figura 10: Distribución del consumo de energía según energéticos para el sector residencial



Fuente: Balance Nacional de Energía 2006, CNE

En definitiva los sectores considerados en el análisis sectorial se muestran en el Cuadro 4, donde se detalla el consumo de energía y el valor agregado para cada subsector y la participación porcentual a nivel de país tanto para el consumo de energía como para el valor agregado.

Cuadro 4: Resumen de consumos de energía y valor agregado considerado en el análisis sectorial

Sector /Subsector	Considerados en el análisis				No considerados en el análisis			
	Consumo de Energía (Tcal)	Participación en el Consumo Total Nacional	Valor Agregado (Millones de \$ de 2003)	Participación en el PIB	Consumo de Energía (Tcal)	Participación en el Consumo Total Nacional	Valor Agregado (Millones de \$ de 2003)	Participación en el PIB
<b>Industrial</b>	<b>26.018</b>	<b>9,00%</b>	<b>2.056.470</b>	<b>4,60%</b>	<b>27.896</b>	<b>9,65%</b>	<b>11.516.248</b>	<b>19,33%</b>
Papel y Celulosa	16.617	5,75%	651.224	1,09%				
Siderurgia	4.285	1,48%	239.724	0,40%				
Cemento <sup>9</sup>	2.897	1,00%	400.191	0,67%				
Azúcar	968	0,33%	39.560	1,22%				
Petroquímica					649	0,22%	2.687.809	4,51%
Pesca	1.251	0,43%	725.771	1,22%				
Industrias varias					27.247	9,43%	8.828.439	14,82%
<b>Minero</b>	<b>31.713</b>	<b>10,97%</b>	<b>4.470.239</b>	<b>7,50%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>
Cobre	23.635	8,18%	3.673.040	6,16%				
Resto	8.078	2,79%	797.199	1,34%				
<b>Servicios</b>	<b>71.846</b>	<b>24,85%</b>	<b>36.701.020</b>	<b>61,59%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>	<b>0</b>	<b>0,00%</b>
Comercial y Público	9.973	3,45%	34.167.654	57,34%				
Electricidad	59.742	20,67%	1.255.387	2,11%				
Petróleo y Gas	2.131	0,74%	1.277.979	2,14%				
<b>Transporte</b>	<b>55.499</b>	<b>19,20%</b>	<b>2.404.253</b>	<b>4,03%</b>	<b>26027</b>	<b>9,00%</b>	<b>1.674.772</b>	<b>2,81%</b>
Transporte Caminero	55.499	19,20%	2.404.253	4,03%				
Resto					26.027	9,00%	1.674.772	2,81%
<b>Residencial</b>	<b>50.062</b>	<b>17,32%</b>	<b>-</b>	<b>-</b>				
<b>Totales</b>	<b>235.138</b>	<b>81,35%</b>	<b>45.631.981</b>	<b>77,72%</b>	<b>53.923</b>	<b>18,65%</b>	<b>13.191.020</b>	<b>22,14%</b>
<b>Totales Nacionales</b>	<b>289.061</b>		<b>59.588.819</b>					

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Balance Nacional de energía de 2006 y de las cuentas nacionales del Banco Central de 2006

<sup>9</sup> Para este sector se consideró el ítem 39 de la MIP año 2003: "Productos minerales no metálicos" para calcular la participación del sector en el PIB para el año 2006.

## 6 Metodología de elaboración de Indicadores de Eficiencia Energética

### 6.1 Generalidades de la metodología

Como punto de partida, es importante analizar, tanto a nivel nacional, sectorial y subsectorial, la evolución del consumo de energía para el periodo comprendido entre los años 1990 y 2006, logrando poner en perspectiva la importancia relativa de cada sector y subsector.

El principal indicador de eficiencia energética utilizado es la intensidad energética. Los indicadores económicos necesarios para realizar los cálculos de intensidad se calculan a nivel macroeconómico, sectorial, y en caso que la información disponible así lo permita, subsectorial. Por otro lado, se complementa esta información con indicadores técnico – económicos en el subsector industrial y en los sectores: residencial y transporte.

Los análisis de descomposición se realizan mediante el método de Laspeyres para el caso residencial<sup>10</sup> y el método de división paramétrica PDM2 para el resto de los casos. La justificación de la elección se encuentra más adelante.

### 6.2 Aplicación a nivel macroeconómico

Al realizar el estudio a nivel macroeconómico de la evolución de los indicadores de eficiencia energética definidos se separa el sector residencial de aquellos sectores relacionados con actividades económicas como son industria, minería, transporte y servicios.

Por una parte, la evolución del consumo de energía para las Actividades Económicas  $\Delta E_{AE}$ , se considera función del valor agregado ( $\Delta ACT_{VA}$ ); de la participación de cada sector en el Producto Interno Bruto (PIB) Nacional, es decir de la estructura económica del país ( $\Delta STR_{Par}$ ); de la intensidad energética ( $\Delta INT_{AE}$ ) y de un resto, que da cuenta de interacciones entre las variables, es decir:

$$\Delta E_{AE} = \Delta ACT_{VA} + \Delta STR_{Par} + \Delta INT_{AE} + R$$

Por otro lado, la evolución del consumo de energía a nivel Residencial ( $\Delta E_{RES}$ ) se considera función del número de hogares ( $\Delta STR_{HOG}$ ) que consumen energía, del ingreso disponible en los hogares ( $\Delta ACT_{ING}$ ), y de la intensidad energética de los hogares ( $\Delta INT_{RES}$ ), entendida como la intensidad del consumo energético por el nivel de ingreso es decir:

---

<sup>10</sup> Una de las razones por las cuales se escoge Laspeyres para el caso residencial dado que no se dan cambios estructurales importantes en el sector. Cabe recordar que el método de Laspeyres se comporta bien cuando la estructura del sector estudiado se mantiene más o menos constante.

$$E_{RES_t} = H_t \times \frac{G_t}{H_t} \times \frac{E_{RES_t}}{G_t} = H_t \times Ing_t \times I_{RES_t}$$

$$\Delta E_{RES} = \Delta STR_{HOG} + \Delta ACT_{ING} + \Delta INT_{RES}$$

donde

$E_{RES}$  : Consumo de energía en el sector residencial en el período t  
 $H_t$  : Número de hogares en el período t a nivel nacional  
 $G_t$  : Gasto en Consumo Final de Hogares e Instituciones Privadas sin Fines de Lucro en el período t.

Finalmente se define el índice de consumo energético  $I_{EN}$ , como el cambio porcentual del consumo de energía con respecto a un año de base  $E_0$  a nivel macroeconómico en la ecuación siguiente:

$$I_{EN} = \frac{\Delta E_{PAIS}}{E_0} = \frac{\Delta E_{AE} + \Delta E_{RES}}{E_0}$$

$$I_{EN} = \frac{(\Delta ACT_{VA} + \Delta STR_{PAR} + \Delta INT_{AE} + R)}{E_0} + \frac{(\Delta ACT_{ING} + \Delta STR_{HOG} + \Delta INT_{RES})}{E_0}$$

Considerando el hecho de que no se han definido subsectores para el sector residencial se utilizará la descomposición del Laspeyres para el caso residencial

Dado que el comportamiento de la intensidad energética asociado al subsector electricidad se encuentra fuertemente influido por el tipo de generación de electricidad (hidro o térmica) se introduce un factor correctivo que minimiza este efecto. La corrección consiste en asociar un consumo de energía equivalente a la producción de electricidad realizada en plantas de generación hidroeléctrica. Se asumió un valor constante para este factor de Consumo Térmico Equivalente (CTE) de 2.504 kcal/kWh<sup>11</sup> para el período considerado. El detalle del factor correctivo se presenta más adelante en la sección correspondiente a la metodología de elaboración de indicadores del Sector Servicios.

## 6.3 Análisis Sectorial

### 6.3.1 Sector Industrial

A nivel industrial, se han considerado los subsectores Papel y Celulosa, Siderurgia, Cemento, Pesca y Azúcar. Se han dejado de lado los subsectores petroquímica e industrias varias. El primero por su baja representatividad en el consumo energético a nivel nacional y el segundo dado que su nivel de agregación no permite obtener conclusiones interesantes.

<sup>11</sup> Este factor fue definido por la CNE en el año 1996 y no ha sido recalculado hasta la fecha.

El índice de consumo energético es construido para observar el efecto de eficiencia energética pura, separado de los cambios estructurales y del aumento en la actividad, para los sectores Papel y Celulosa, Siderurgia, y Pesca. Para esto se aplica el Método de División Paramétrico.

$$\Delta E_{IND} = \Delta ACT_{VA} + \Delta STR_{Par} + \Delta INT_{IND} + R$$

$$I_{EN} = \frac{\Delta E_{IND}}{E_0}$$

No existen estadísticas disponibles acerca del nivel de actividad para la industria del Cemento medida como valor agregado, por lo cual este sector no podría, hasta el momento, ser incluido en este análisis. De esta manera la industria del Cemento será analizada mediante indicadores técnicos de consumo específico, de manera de observar la evolución del consumo de energía por tonelada de cemento producido.

Así, para el caso del indicador consumo específico para el cemento, dado que se trabaja con valores de producción, el índice no es influido por cambios estructurales en la economía, sin embargo, como ya se ha mencionado, es posible que las conclusiones sean distorsionadas por la subcontratación de servicios en la industria (menos relevantes energéticamente en el caso de la industria del cemento).

### 6.3.2 Sector Minero

El análisis sectorial del sector minero se concentrará en la producción de cobre por su importancia tanto en consumo energético como en el aporte de esta actividad al Producto Nacional.

De esta manera el cambio de estructura de índice de consumo de energía se contrastará con el resto de la Minería Nacional.

#### 6.3.2.1 Análisis subsectorial:

##### I. Minería del Cobre

En la Minería del cobre se analiza en detalle el cambio estructural asociado al cambio en los procesos de producción de cobre que se ha observado a partir del aumento en la producción de minerales oxidados. Este estudio se basa en estudios de consumo de energía en la Minería del Cobre desarrollados por COCHILCO.

Para analizar con detalle el proceso de producción de cobre ver Anexo 3.

##### II. Construcción de los Indicadores

A partir de los coeficientes unitarios de consumo de energía en las etapas de producción de cobre,  $CU_{Etapa i}$  (Cuadro 5 y Cuadro 6) y de la producción de productos de cada etapa ( $Producto_{Etapa i}$ ) se establecen los consumos totales de energía para cada una de las etapas productivas, es decir:

$$E_{etapa\ i} = CU_{Etapa\ i} \times Producto_{Etapa\ i}$$

Ec. 2

En la Figura 78 se muestran los productos de cada etapa, así por ejemplo en la etapa de fundición el producto total de la etapa es Blister que es la suma de los productos finales de la etapa, Blister, Refinado a Fuego (RAF), y Mantos Blancos que van a venta directamente y ánodos que sigue en proceso llegando a la refinera electrolítica.

Cuadro 5: Coeficientes Unitarios Globales de Consumo de Combustibles por Áreas<sup>12</sup>

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Mina Rajo</b> (MJ / TMF en mineral)	4.757,0	4.379,1	4.128,8	4.213,8	3.821,1	3.925,7	4.269,7	4.540,7	4.399,8	4.411,6	3.805,3	4.035,5
<b>Mina Subterránea</b> (MJ / TMF en mineral)	587,1	524,7	424,8	481,9	549,9	753,3	947,0	1.069,7	1.129,0	1.000,6	1.299,2	1.537,2
<b>Concentradora</b> (MJ / TMF en concentrado)	341,9	259,4	291,2	230,5	217,6	191,6	200,4	200,4	204,4	182,6	215,8	185,4
<b>Fundición</b> (MJ / TMF en ánodos)	9.900,8	9.165,9	8.556,6	7.909,8	6.894,6	7.156,9	6.305,8	5.519,0	5.328,5	4.926,6	4.924,7	4.822,7
<b>Refinería</b> (MJ / TMF en cátodos ER)	1.283,2	1.257,9	1.090,9	1.243,8	1.260,2	1.267,9	947,7	1.042,9	1.050,1	1.114,7	1.764,7	1.604,6
<b>LX / SX / EW</b> (MJ / TMF en cátodos EO)	3.139,9	2.998,1	2.469,2	2.406,7	3.662,1	3.612,1	2.360,3	2.401,9	2.694,5	2.756,5	2.912,2	2.976,7
<b>Servicios</b> (MJ / TMF total producido)	349,1	270,9	264,6	364,9	273,5	294,1	357,7	377,0	510,8	321,4	297,1	278,7

Fuente: COCHILCO, diciembre de 2005

Cuadro 6: Coeficientes Unitarios Globales de Consumo de Energía Eléctrica por Áreas<sup>13</sup>

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Mina Rajo</b> (MJ / TMF en mineral)	750,0	710,3	581,2	585,8	530,0	446,7	436,6	471,9	532,2	578,1	589,7	564,5
<b>Mina Subterránea</b> (MJ / TMF en mineral)	1.023,5	973,7	895,4	938,3	1.152,2	1.195,2	1.248,3	1.337,3	1.394,5	1.257,9	1.535,1	1.678,7
<b>Concentradora</b> (MJ / TMF en concentrado)	5.564,1	5.023,9	5.067,3	5.452,3	5.780,2	6.110,2	6.183,7	6.961,5	7.207,9	7.009,4	7.293,5	7.397,6
<b>Fundición</b> (MJ / TMF en ánodos)	2.706,4	2.631,3	2.817,4	3.036,3	3.227,7	3.303,6	3.494,1	3.694,0	3.792,0	3.836,2	3.771,7	3.778,7
<b>Refinería</b> (MJ / TMF en cátodos ER)	1.210,7	1.215,8	1.219,9	1.223,0	1.252,5	1.263,3	1.245,4	1.243,4	1.238,1	1.276,8	1.269,9	1.233,4
<b>LX / SX / EW</b> (MJ / TMF en cátodos EO)	10.849,1	9.904,7	9.520,2	9.650,1	9.844,1	10.101,0	9.621,7	9.976,7	10.255,6	10.428,6	10.033,2	10.089,3
<b>Servicios</b> (MJ / TMF total producido)	459,5	466,0	432,1	488,4	475,3	444,3	474,0	502,2	451,9	468,4	541,0	464,7

Fuente: COCHILCO, diciembre de 2005

A partir de los consumos de cada etapa, la energía consumida en la elaboración de cada producto vendido por la Industria del Cobre se obtiene mediante la aplicación de la siguiente relación:

$$E_i = \sum_j E_{Etapa\ j} \times Part_{i,j} + F_i \times (E_S + E_{SG})$$

Ec. 3

Es decir, la energía requerida para elaborar el producto de cobre  $i$  ( $E_i$ ), es igual a la suma del producto entre el consumo de energía en la etapa  $j$  ( $E_{Etapa\ j}$ ) por la participación que el producto  $i$

<sup>12</sup> Como no existen datos actualizados de los Coeficientes Unitarios de Consumo de Combustibles por Áreas, se utilizan los valores para el año 2004 en los años 2005 y 2006

<sup>13</sup> En el caso de los Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía Eléctrica por Áreas se procede de igual manera que para el caso de combustibles, es decir, se utilizan los valores para el año 2004 en los años 2005 y 2006

tiene sobre la producción de la etapa  $j$  ( $Part_{ij}$ ). Se le agregan los consumos de energía en servicios ( $E_S$ ) y en Servicios Generales ( $E_{SG}$ ) por la fracción del producto  $i$  ( $F_i$ ) en la producción total de cobre.

Los productos entre los que se estudian los cambios estructurales, medidos en Toneladas Métricas de Fino (TMF) son:

- Cátodos SX-EW
- Cátodos ER
- Refinado a fuego
- Refinado Mantos Blancos
- Concentrados

El resumen de las participaciones ( $Part_{ij}$ ) para cada producto se muestran esquemáticamente en el siguiente cuadro.

Cuadro 7: Participaciones para cada producto en la producción

	Mina	Concentradora	Fundición	Refinería Electrolítica	Trat. Óxidos
Cátodos SX-EW	$fox$	$0$	$0$	$0$	$1$
Cátodos E.R.	$fs \times fcp \times fan \times 1$	$fcp \times fan \times 1$	$fan \times 1$	$1$	$0$
Refinado a fuego	$fs \times fcp \times fRAF$	$fcp \times fRAF$	$fRAF$	$0$	$0$
Blister a venta	$fs \times fcp \times fbl$	$fcp \times fbl$	$fbl$	$0$	$0$
Refinado Mantos Blancos	$fs \times fcp \times fmb$	$fcp \times fmb$	$fmb$	$0$	$0$
Concentrados a venta	$fs \times fcv$	$fcv$	$0$	$0$	$0$

donde:

- $fs$  : Fracción de minerales sulfurados en la producción de mina  
 $fox$  : Fracción de minerales oxidados en la producción de mina  
 $fcp$  : Fracción de concentrados que continúan el proceso de refinación  
 $fcv$  : Fracción de concentrados que se venden como concentrados.  
 $fRAF$  : Fracción de Refinado a Fuego del total de la producción de la fundición que se vende como refinado a fuego  
 $fbl$  : Fracción de Blister del total de la producción de la fundición que se vende como cobre Blister  
 $fmb$  : Fracción de Mantos Blancos del total de la producción de la fundición que se vende como que se vende como Mantos Blancos  
 $fan$  : Fracción de ánodos que continúa el proceso de refinación.

A partir de la energía consumida para elaborar cada producto de Cobre se estima la evolución de los consumos específicos y mediante el uso de índice de consumo energético se estima el aporte de la eficiencia energética y de los cambios estructurales asociados a modificaciones en las estructuras productivas. Para esto se usará la producción física de cobre fino como la variable de actividad.

### III. Minería del hierro

Para el caso de la minería del hierro se analiza la evolución del consumo específico, para lo cual se utilizarán las estadísticas de producción de "ore" que aparece en el anuario de COCHILCO. Es importante destacar que hasta el año 2002 estaban disponibles las estadísticas de producción de pellets que eran publicadas en el boletín mensual del Banco Central, pero, desde el año 2003 en adelante no se continuó con la publicación de la mencionada información.

**Cuadro 8: Estadísticas de Producción Ore**

Año	Ore (miles de Toneladas Métricas)
1990	8.247,9
1991	8.414,4
1992	7.224,0
1993	7.379,0
1994	8.340,5
1995	8.431,6
1996	9.081,7
1997	8.738,2
1998	9.112,1
1999	8.345,0
2000	8.728,9
2001	8.834,2
2002	7.268,8
2003	8.011,0
2004	8.003,5
2005	7.862,1
2006	8.628,2

Fuente: Anuario 2006, COCHILCO, Tabla 1.1 y 1.2:

"Producción de la minería de Chile metálica, no metálica y combustibles" (1987-2006)

#### IV. Minería del salitre.

En la minería del salitre se analiza la evolución del consumo específico, para lo cual se utilizarán las estadísticas de producción incluidas en el anuario de COCHILCO del año 2006. Cabe destacar que en el caso del salitre, al igual que en el caso del hierro, las estadísticas de producción física aparecían hasta el año 2002 en el Boletín mensual del Banco Central, sin embargo, a partir del año 2003 no se siguió publicando esta información, por lo tanto se debe recurrir al anuario de COCHILCO y considerar el ítem “Nitratos” de las tablas de producción regional de minerales metálicos y no metálicos.

Cuadro 9: Estadísticas de Producción de salitre

Año	(Miles de toneladas brutas)
1990	770
1991	776
1992	829
1993	864
1994	822
1995	895
1996	809
1997	847
1998	882
1999	916
2000	988
2001	1.072
2002	1.174
2003	1.134
2004	1.402
2005	1.283
2006	1.112

Fuente: Anuario 2006, COCHILCO, Tabla 34.2: Producción minera - I Región, metálica, no metálica y combustibles, Tabla 35.1 y 35.2: Producción minera - II Región, metálica, no metálica y combustibles

#### 6.3.3 Sector Servicios

El sector se subdivide en: Centros de Transformación (Electricidad Petróleo y Gas) y subsectores Comercial y Público, y se utilizará el índice de consumo energético para descomponer el consumo de energía, de modo de reflejar los cambios en el nivel de actividad que son relevantes en este tema. En este caso el indicador de actividad será el Valor Agregado de cada subsector considerado, elaborado por el Banco Central en el Balance de Cuentas Nacionales y en la Matriz de Insumo Producto, considerando la de 1986 para el periodo 1990 – 1995; la de 1996 para el periodo 1996 – 2002 y la de 2003 para el periodo comprendido entre los años 2003 y 2006.

Debido a que el comportamiento de la intensidad energética asociado al subsector electricidad se encuentra fuertemente influido por el tipo de generación de electricidad (hidro o térmica), se ha estimado necesario introducir un factor correctivo de manera de independizar la evolución de la

intensidad energética y, por lo tanto, del consumo de energía, de las variaciones de la hidrología a la que esté sometida el país.

En efecto, cuando se presenta una “hidrología húmeda”, la generación de electricidad se realiza predominantemente en plantas de generación hidroeléctrica y por lo tanto, se consume, para la generación de electricidad, una cantidad reducida de combustibles. Por otro lado, cuando se tiene una “hidrología seca”, la generación de electricidad se realiza principalmente en plantas térmicas, lo que se traduce en mayores requerimientos de combustibles para abastecer las necesidades de consumo eléctrico del país. Este fenómeno influye significativamente en la evolución de la intensidad energética nacional, sin que se pueda afirmar que ello se debe a una modificación de la eficiencia energética.

Para corregir este problema asociado al consumo de energía del sector eléctrico y su comportamiento (definido en el Balance Nacional de Energía) se supone que toda la electricidad es generada por plantas térmicas, donde los consumos de combustibles asociados a las plantas hidroeléctricas estarán dados por la ecuación:

$$CE_{hidro,t} = \frac{PE_{Hidro,t} \times CTE_t}{1000} \quad Ec. 4$$

donde

- $CE_{Hidro,t}$  : Consumo de energía asociado a la producción de hidroelectricidad en el período  $t$ , (en Tcal)  
 $PE_{Hidro,t}$  : Producción de Hidroelectricidad en el período  $t$ , (en GWh)  
 $CTE_t$  : Consumo Térmico Equivalente del parque de generación nacional en el período  $t$ , (en kcal/kWh).

Se asumió un valor constante de  $CTE$  de 2.504 kcal/kWh para todo el período considerado, este valor es el equivalente térmico representativo de la situación actual del parque térmico de generación eléctrica.

### 6.3.4 Sector Transportes

El indicador de transportes es el índice de consumo energético, aplicado a los subsectores: transporte caminero y resto del transporte. Como ya se mencionó, no es posible separar entre transporte caminero de carga y de pasajeros, dado que no existe información desagregada al respecto.

### 6.3.5 Sector Residencial

Para el sector residencial se considera como indicador la intensidad energética, la cual es medido como el cociente entre los consumos de energía del sector Residencial y el Ingreso Disponible de las Personas (definido como las remuneraciones per cápita). Debido a la importancia de la

electricidad y de los combustibles, al analizar el problema de la calefacción de las viviendas, la evolución del consumo de estos energéticos se analiza separadamente.

$$E_{RES_t} = H_t \times \frac{G_t}{H_t} \times \frac{E_t}{G_t} = H_t \times Ing_t \times I_{RES_t}$$

$$\Delta E_{RES} = \Delta STR_{HOG} + \Delta ACT_{ING} + \Delta INT_{RES}$$

Dado que no se han definido subsectores para el sector residencial, se utilizará la descomposición del Laspeyres para el caso residencial. Esta descomposición será aplicada para cada uno de los energéticos consumidos por el sector.

En definitiva los indicadores considerados en el estudio se resumen en el cuadro siguiente:

Cuadro 10: Resumen de los indicadores de Actividad, Estructura e Intensidad.

Sector	Actividad (A)	Estructura (Si = Ai/A)	Intensidad (Ii=Ei/Ai)
<b>Industrial</b>	Valor Agregado (VA)		Energía / Valor Agregado
Papel y Celulosa	Valor Agregado y Toneladas	% del VA del Sector	Energía / Valor Agregado y Energía/ toneladas
Siderurgia	Valor Agregado y Toneladas	% del VA del Sector	Energía / Valor Agregado y Energía/ toneladas
Cemento	Toneladas	nd	Energía/ toneladas
Azúcar	Valor Agregado y Toneladas	% del VA del Sector	Energía / Valor Agregado y Energía/ toneladas
Pesca	Valor Agregado	% del VA del Sector	Energía / Valor Agregado
<b>Minero</b>	Valor Agregado		Energía / Valor Agregado
Cobre	Valor Agregado y Toneladas	% del VA del Sector	Energía / Valor Agregado y Energía/ toneladas
Resto	Valor Agregado	% del VA del Sector	Energía / Valor Agregado y Energía/ toneladas
Hierro	Valor Agregado y Toneladas	nd	Energía / Valor Agregado y Energía/ toneladas
Salitre	Toneladas	nd	Energía/ toneladas
<b>Servicios</b>	Valor Agregado		Energía / Valor Agregado
Comercial y Público	Valor Agregado	% del VA del Sector	Energía / Valor Agregado
Electricidad	Valor Agregado	% del VA del Sector	Energía / Valor Agregado
Petróleo y Gas	Valor Agregado	% del VA del Sector	Energía / Valor Agregado
<b>Transporte</b>	Valor Agregado		
Transporte Caminero	Valor Agregado	nd	Energía / Valor Agregado
Resto del transporte	Valor Agregado	nd	Energía / Valor Agregado
<b>Residencial<sup>14</sup></b>	Ingreso / vivienda	Nº de Viviendas	Energía/Ingreso

Nota: nd: No definido

<sup>14</sup> Para el caso residencial no se han definido subsectores. Pero, en este caso se realiza un análisis para cada combustible.

## 6.4 Ajuste de los datos

Al trabajar con los datos del Banco Central aparece el problema de que las series están en tres bases distintas:

- Base 1986 para el periodo comprendido entre los años 1990 y 1995
- Base 1996 para el periodo comprendido entre los años 1996 y 2002
- Base 1986 para el periodo comprendido entre los años 2003 y 2006

Según la metodología propuesta por el Banco Central, para abordar el problema del empalme de las cifras, a precios constantes, separadas por actividad económica, habría que tener en cuenta que ello:

*“consiste en nivelar las cuentas a la medición del nuevo año base (medición más precisa), y retropolar la serie en función de las tasas de variación implícitas en la antigua base de medición. En términos estadísticos, implica básicamente cambiar de nivel las series, manteniendo sus tasas de variación anual:*

$$R_{t-i-1}^{b_2} = R_{t-i}^{b_2} \times \left( \frac{R_{t-i-1}^{b_1}}{R_{t-i}^{b_1}} \right) \quad \text{Ec. 5}$$

donde

$i = \{0, \dots, n-1\}$ , siendo  $n$  el número de años de vigencia de la referencia previa

$R$  = nivel de la variable en pesos constantes

$b_1$  = base de referencia anterior

$b_2$  = nueva base de referencia

$t$  = año de referencia de la nueva base,  $b_2$ .”

Este proceso debe llevarse a cabo 2 veces dado que debe pasar de la serie de 1986 a la de 1996, y luego, el empalme debe pasar a serie 2003.

Cabe destacar que el documento del Banco Central contiene la serie empalmada para el PIB a nivel de país, por lo tanto la metodología se aplica a sectores y subsectores de la economía nacional.

Por otro lado, cuando no existe la información del valor agregado subsectorial en las cuentas nacionales publicadas por el Banco Central se recurre a la información de la Matriz Insumo Producto (MIP), donde es posible encontrar el valor agregado de distintos subsectores de la economía chilena, con un nivel de desagregación mayor que el mostrado en los anuarios del Banco. Los valores reportados para los subsectores requeridos se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11: Valor agregado de algunos subsectores

	Azúcar	Fabricación de papel	Industrias básicas del hierro y del acero	Suministro de electricidad	Suministro de gas	Suministro de agua	Transporte caminero	Refinerías de petróleo
Participación del subsector en el PIB de 1986 <sup>15</sup>	-	0,20%	0,39%	0,93%	0,74%	0,34%	2,47%	0,57%
Participación del subsector en el PIB de 1996 <sup>16</sup>	0,19%	1,08%	0,37%	2,33%	0,03%	0,48%	2,76%	1,36%
Participación del subsector en el PIB de 2003 <sup>17</sup>	0,06%	1,18%	0,40%	2,10%	0,15%	0,61%	4,08%	1,99%

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Banco Central

## 6.5 Pruebas de aplicación de los Indicadores

Para realizar el análisis de descomposición, se eligió el Índice Consumo Energético  $I_{EN}$ , definido el cambio porcentual del consumo de energía con respecto a un año de base, que en este caso corresponde al año 1990.

Para el sector Minería se aplicaron los tres métodos seleccionados es decir: Laspeyres, Método de División Paramétrica 1 (PDM1) y Método de División Paramétrica 2 (PDM2). En ambos métodos PDM se utilizó un método adaptativo para los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\tau$ , esto es, se adoptaron valores distintos para cada parámetro.

Posteriormente se realizó el siguiente procedimiento de optimización de los parámetros:

1. Para cada período  $t$  se definió el resto (R) del método como:

$$R_t = \Delta E_t - (\Delta ACT_t + \Delta STR_t + \Delta INT_t) \quad \text{Ec. 6}$$

Donde  $\Delta E_t$  es la diferencia real en el consumo de energía entre el período  $t$  y el período de base, y  $\Delta ACT_t$ ,  $\Delta STR_t$ ,  $\Delta INT_t$  son los efectos de Actividad, Estructura e Intensidad calculados.

2. Por lo tanto, el error del método en el tiempo  $t$  será:

$$\text{Error}_t = R_t / \Delta E_t \quad \text{Ec. 7}$$

3. Y el error total en el período se define como:

<sup>15</sup> MIP, Cuadro 67x67, Valor agregado, millones de pesos de 1986

<sup>16</sup> Matriz de 73x73, Cuadro 6.11 de la MIP millones de pesos de 1996, Banco Central

<sup>17</sup> Matriz de 73x73, Cuadro 6.11 de la MIP millones de pesos de 2003, Banco Central

$$Error = \sum_t Error_t$$

Ec. 8

4. Utilizando la herramienta *Solver* incorporada en Microsoft Excel se encuentran los valores de  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\tau$  que minimizan la función Error (Ec. 16) sujeto a la restricción:

$$0 \leq \alpha, \beta \text{ y } \tau \leq 1$$

Como resultado se obtuvo:

Cuadro 12: Ajuste de error según los métodos de descomposición analizados

Método	Parámetros			Error
	$\alpha$	$\beta$	$\tau$	
Laspeyres	n.a.	n.a.	n.a.	5
PDM1	0,44636	0,45045	0,47903	1,37E-07
PDM2	0,63393	0,25740	0,42629	2,12E-08

Fuente: Elaboración propia

Nota: n.a: No Aplica

La literatura (Mallika 1998) concluye que ambos métodos PDM adaptativos permiten minimizar los errores por sobre otros como Laspeyres o incluso PDM 1 u 2 basados en Laspeyres, los métodos PDM basados en el promedio simple también permiten alcanzar buenos resultados.

Por otro lado, de acuerdo con múltiples estudios (entre ellos Liu, 2006), se puede confirmar la inexactitud que presenta el desarrollo de Laspeyres al ser comparado con los métodos de división paramétricos (PDM1 y PDM2). Esto se debe a que cuando se producen grandes cambios en las variables de estructura o de intensidad, tienden a formarse grandes residuos. Estos cambios tienden ser importantes en estudios de países en vías de desarrollo o cuando se hace un estudio detallado de un país, lo que inutilizaría este tipo de análisis en tales casos. La presencia de estos residuos puede llevar a una mala interpretación de los resultados obtenidos y finalmente, pondría en tela de juicio la utilidad del estudio (Ang y Liu, 2007).

Se optó por la descomposición PDM2 debido a que se trata de una descomposición más intuitiva, muy similar al procedimiento de Laspeyres pero que introduce parámetros que permiten minimizar el error de la descomposición. Esta descomposición se aplica a todos los sectores de manera agregada, realizar una descomposición al nivel de las distintas ramas industriales no permitiría obtener una buena aproximación, debido a las limitaciones de la información existente. Sin embargo, para el subsector "Minería del Cobre", es posible realizar un análisis más detallado porque se cuenta con una gran cantidad de información.

## 6.6 Comparabilidad de los indicadores

Respecto de la comparación internacional de los indicadores, ella debe hacerse con precaución debido a diferentes razones tales como:

- las estructuras de los consumos de energía de los países son distintas
- la importancia del transporte público en relación al privado no es igual en los diferentes países
- las políticas de desarrollo urbano, las condiciones climáticas, la topografía y distancia entre los centros de producción y consumo, son diferentes de un país a otro
- la disponibilidad o no de recursos energéticos, en particular de hidrocarburos, hacen la comparación compleja y puede inducir a conclusiones equívocas o simplemente erróneas, por lo menos a un nivel cuantitativo.

## 7 Fuentes de información para la construcción de los indicadores

Para simplificar al máximo la metodología y facilitar la actualización del estudio se ha intentado minimizar las fuentes de información requeridas. De este modo, la información económica proviene fundamentalmente del Banco Central de Chile, mientras que la información energética proviene de la Comisión Nacional de Energía. El detalle de las fuentes de Información utilizadas se resume a continuación.

### 7.1 Información de Energía.

Toda la información de energía utilizada en este estudio proviene de los cuadros "Consumo Sectorial de Productos Secundarios -Teracalorías- "Balances Nacionales de Energía, Comisión Nacional de Energía.

*Periodicidad: Anual*

Para el caso de la definición del consumo del sector residencial se obtuvo la información del Cuadro 8: Consumo sectorial en Tcal. "Balances Nacionales de Energía, Comisión Nacional de Energía.

*Periodicidad: Anual*

### 7.2 Información de Actividad

#### 7.2.1 Valor Agregado.

Para los sectores:

- Agropecuario-silvícola
- Pesca
- Minería
- Cobre
- Resto (minería)
- Industria Manufacturera
- Electricidad, Gas y Agua
- Construcción
- Comercio, Restaurantes y Hoteles
- Transporte
- Comunicaciones
- Servicios Financieros y Empresariales
- Propiedad de vivienda<sup>18</sup>
- Servicios Personales
- Administración Pública
- Imputaciones Bancarias
- Más : IVA Neto Recaudado
- Más : Derechos de Importación

---

<sup>18</sup> Registra la variación del stock de viviendas en cada región

De 1990-1995, calculado a partir de los cuadros 1.48 a 1.53:" Cuenta agregada de la producción de las actividades económicas a precios constantes (millones de pesos de 1986)", cambiando la base Anuario de cuentas nacionales 1999. Noviembre de 2000. Banco Central de Chile.

*Periodicidad: Anual*

De 1996-2002, calculado a partir del Cuadro 1.28: Cuenta agregada de la producción de las actividades económicas a precios constantes 1996 a 2003, Valor agregado, (Millones de pesos de 1996), "Anuario de Cuentas Nacionales, 2003", Banco Central de Chile, cambiando la base

*Periodicidad: Anual.*

De 2003 a 2005, Cuadro 1.28: Cuenta agregada de la producción de las actividades económicas a precios constantes 2003 a 2006, Valor agregado, (Millones de pesos de 2003), "Anuario de Cuentas Nacionales, 2003", Banco Central de Chile.

*Periodicidad: Anual.*

Para el año 2006, los datos de valor agregado fueron extraídos directamente desde la página web del Banco Central.

Para el sector residencial se utilizó, para el cálculo del *Ingreso por hogar*, las siguientes fuentes:

De 1990 a 1995, calculado a partir del ítem "Gasto en consumo final de hogares e instituciones privadas sin fines de lucro." Cuadro 1.16: Gasto del producto interno bruto a precios constantes, 1985 - 1999, (Millones de pesos de 1986 Anuario de cuentas nacionales 1999. Noviembre de 2000, cambiando la base. Banco Central de Chile.

*Periodicidad: No definida.*

De 1996 a 2002, Ítem "Gasto en consumo final de hogares e instituciones privadas sin fines de lucro." Cuadro 1.17: Gasto del producto interno bruto a precios constantes, 1996-2003, (Millones de pesos de 1996), "Anuario de Cuentas Nacionales, 2003", cambiando la base. Banco Central de Chile.

*Periodicidad: Anual.*

De 2003 - 2005, "Cuadro 1.22: Consumo final de hogares e instituciones privadas sin fines de lucro de bienes y servicios a precios constantes, 2003-2005 (Millones de pesos de 2003)", "Anuario de Cuentas Nacionales, 2006", Banco Central de Chile.

*Periodicidad: Anual.*

Para el año 2006, los datos fueron extraídos directamente desde la página web del Banco Central.

Para los sectores:

- Papel y Celulosa
- Siderurgia
- Azúcar
- Suministro de electricidad
- Suministro de agua
- Suministro de gas

- Transporte Caminero

La información del valor agregado fue estimada a partir de la Matriz Insumo Producto (MIP), correspondiente al año base de la serie. Para el periodo comprendido entre los años 1990 - 1995 se utilizó la matriz de 67 x 67, en millones de pesos de 1986. Para el periodo entre los años 1996 y 2002 se utilizó la MIP de 73x73, Tabla 11 en millones de pesos de 1996. Finalmente, para el periodo entre los años 2003 y 2006 se consideró la tabla 6.11 de 73 x 73 en millones de pesos de 2006.

## 7.2.2 Producción física

### Papel y Celulosa

Se obtuvo de la publicación del Instituto Forestal INFOR, Boletín Estadístico 111: Estadísticas forestales chilenas 2005, del Cuadro 3.8: Producción de celulosa 1958-2005 (pág. 72) y Cuadro 3.9: Producción de papeles y cartones (pág. 73)

### Siderurgia

La información de producción física fue entregada por el Sr. Alberto Pose de ILAFA, el Sr. Fernando Salinas de Compañía Siderurgia Huachipato y el Sr. José Luis Pitto de Gerdau Aza.

### Cemento

Se obtuvo la información de producción física del Cuadro: "Consumo histórico de cemento". Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile

### Azúcar

La información fue entregada por Rebeca Iglesias de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias

### Cobre

"Anuario de estadísticas del cobre y otros minerales 1987 – 2006", Comisión Chilena del Cobre, 2007, Tabla 2.1 y 2.2. Producción Chilena de cobre comerciable por empresa y producto.

*Periodicidad: Anual*

### Hierro

"Anuario de estadísticas del cobre y otros minerales 1987 – 2006", Comisión Chilena del Cobre, 2007, Tabla 1.1 y 1.2, en miles de toneladas métricas de mineral (kTM ore).

*Periodicidad: anual*

### Salitre

Anuario 2006, COCHILCO, Tabla 34.2: Producción minera - I Región, metálica, no metálica y combustibles, Tabla 35.1 y 35.2: Producción minera - II Región, metálica, no metálica y combustibles

*Periodicidad: Anual*

### 7.3 Otras fuentes de Información

#### Cobre

Consumos Específicos de Energía por proceso.

Cuadros: Coeficientes Unitarios Globales de Consumo de Combustibles por Áreas, y Coeficientes Unitarios Globales de Consumo de Energía Eléctrica por Áreas, pág. 2. "Consumos de Energía en la Minería del Cobre 1990-1994", COCHILCO, 2001.

*Periodicidad: No definida.*

Consumos Específicos de Energía por proceso.

Cuadros: Coeficientes Unitarios de Consumo de Energía de la Minería del Cobre. 1995 – 2004. Pág. 17 para combustibles y para energía eléctrica, COCHILCO, julio de 2007.

*Periodicidad: No definida.*

#### Residencial

##### Población

Cuadro 11: "Chile: Proyecciones y estimaciones de población. Total País 1950-2050", Instituto Nacional de Estadísticas, Comisión económica para América Latina y el Caribe. 2004

*Periodicidad: Decenal*

Número de hogares.

Estimación en base a "Censo 2002, Síntesis de Resultados", INE, Marzo, 2003.

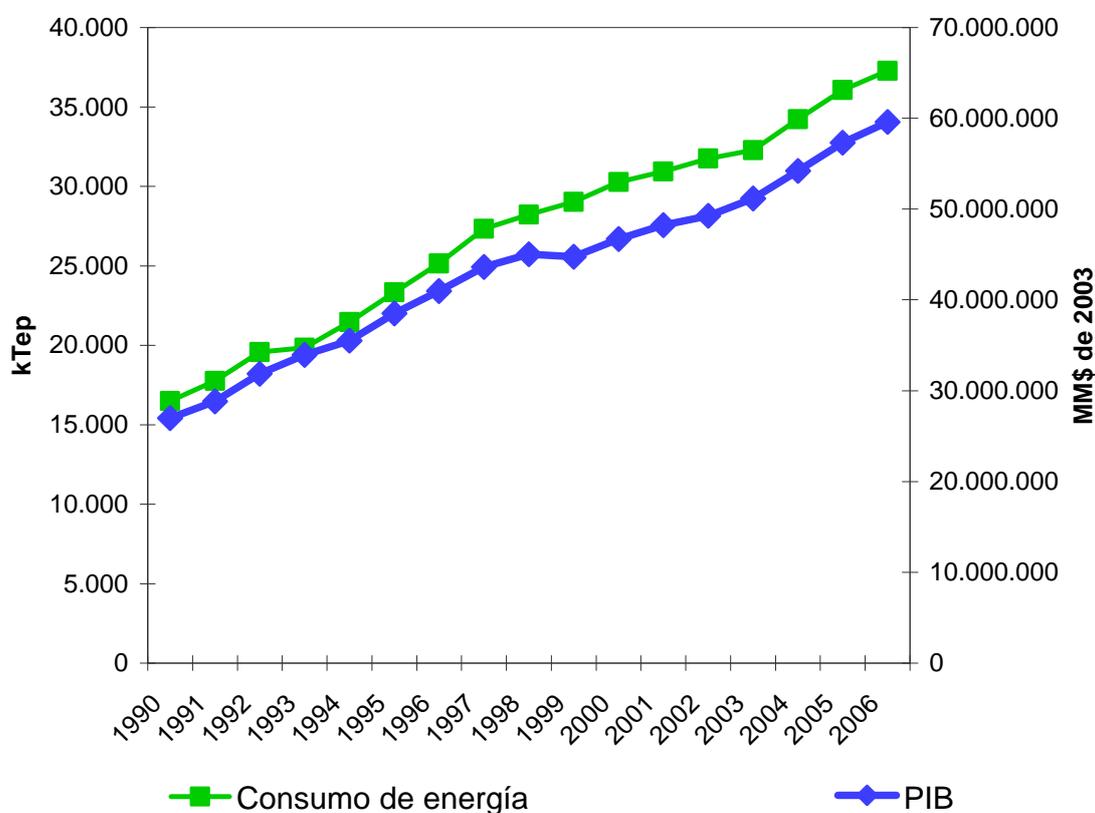
*Periodicidad: cada 10 años*

## 8 Evolución del Consumo de Energía y la Eficiencia Energética en Chile.

### 8.1 Análisis Macroeconómico

Durante el período analizado, es decir, entre 1990 y 2006, el consumo de energía<sup>19</sup> a nivel nacional creció a una tasa anual promedio de 5,07%, crecimiento ligeramente inferior al experimentado por el producto interno bruto (PIB) que creció a un ritmo del 5,72%. En la Figura 11 se muestra la evolución a través de los años de ambos indicadores, donde es posible apreciar que siguen la misma tendencia, es decir, ambos crecen sostenidamente a una tasa promedio similar.

Figura 11: Evolución del PIB y del consumo de energía secundaria en Chile

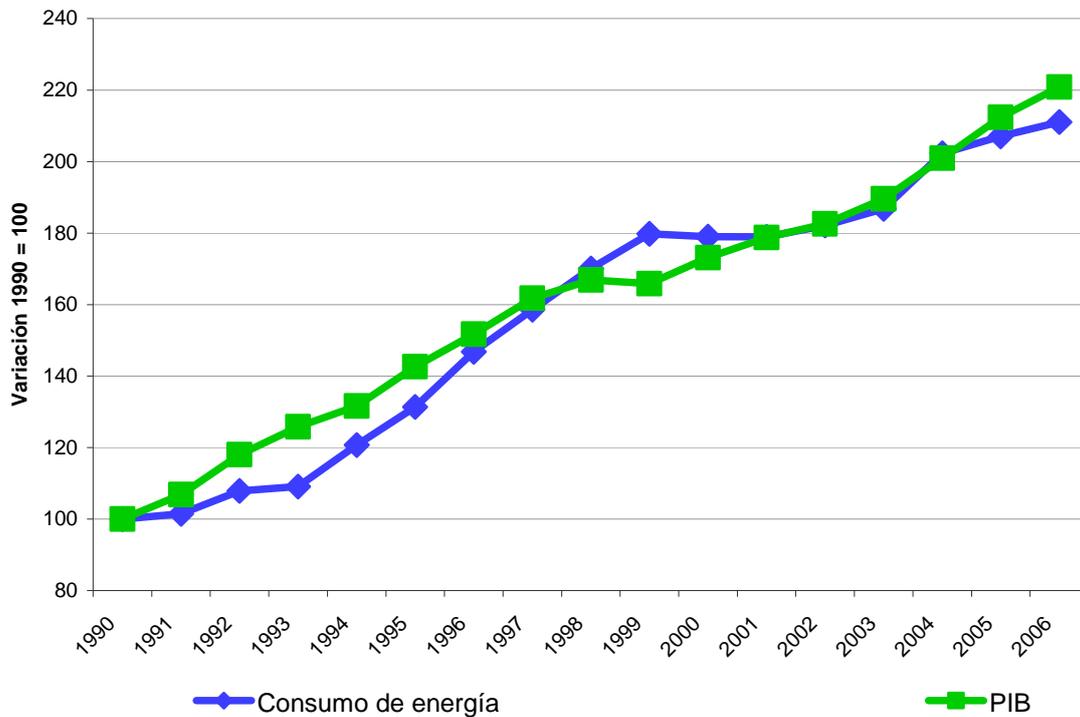


Fuente: Elaboración propia en base a datos del Banco Central y de la CNE

<sup>19</sup> Tal como se ha establecido, en este documento el "consumo de energía" descuenta aquellos consumos de productos energéticos utilizados como materias primas como es el caso del gas natural para Metanol o el carbón como reductor en la siderurgia.

Para apreciar de mejor manera la correlación entre PIB y consumo energético es que se agrega la Figura 12, donde queda más claro que se ha producido un desacoplamiento entre el PIB y el consumo de energía en los años 2005 y 2006.<sup>20</sup>

Figura 12: Variación del consumo de energía y del PIB con respecto a 1990

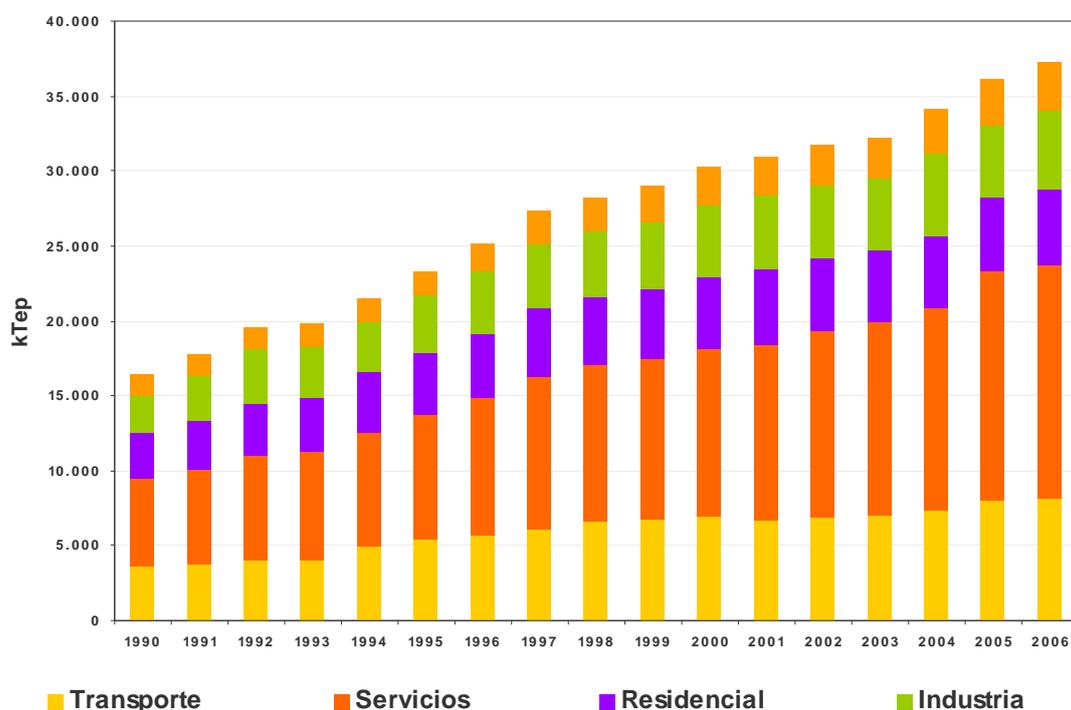


Fuente: Elaboración propia en base a datos del Banco Central y de la CNE

En la Figura 13 es posible observar la evolución del consumo de energía anual de los distintos sectores de consumo, siendo destacable el crecimiento del sector servicios, en relación a los otros sectores, a partir del año 1994.

<sup>20</sup> Conviene señalar, como se reiterará más adelante, que la forma de estimar el consumo de la leña en el Balance Nacional de Energía podría explicar el menor crecimiento del consumo de energía en relación al PIB.

Figura 13: Consumo de energía por sector



Fuente: Elaboración propia en base a datos de la CNE

El Cuadro 13 permite ilustrar los cambios estructurales en la distribución del consumo en Chile. Del análisis de dicho cuadro se desprende que la estructura del consumo de energía no ha sufrido un cambio significativo entre 1990 y 2006, no obstante que el consumo de energía ha aumentado a más del doble. Cabe destacar que el sector residencial ha visto reducida su importancia aumentando la del sector servicios, esto se justifica por el reemplazo paulatino de la leña por combustibles más eficientes en el sector residencial<sup>21</sup> y por un aumento sostenido en la actividad del sector servicios y de la generación termoeléctrica..

Cuadro 13: Distribución del consumo de energía por sectores

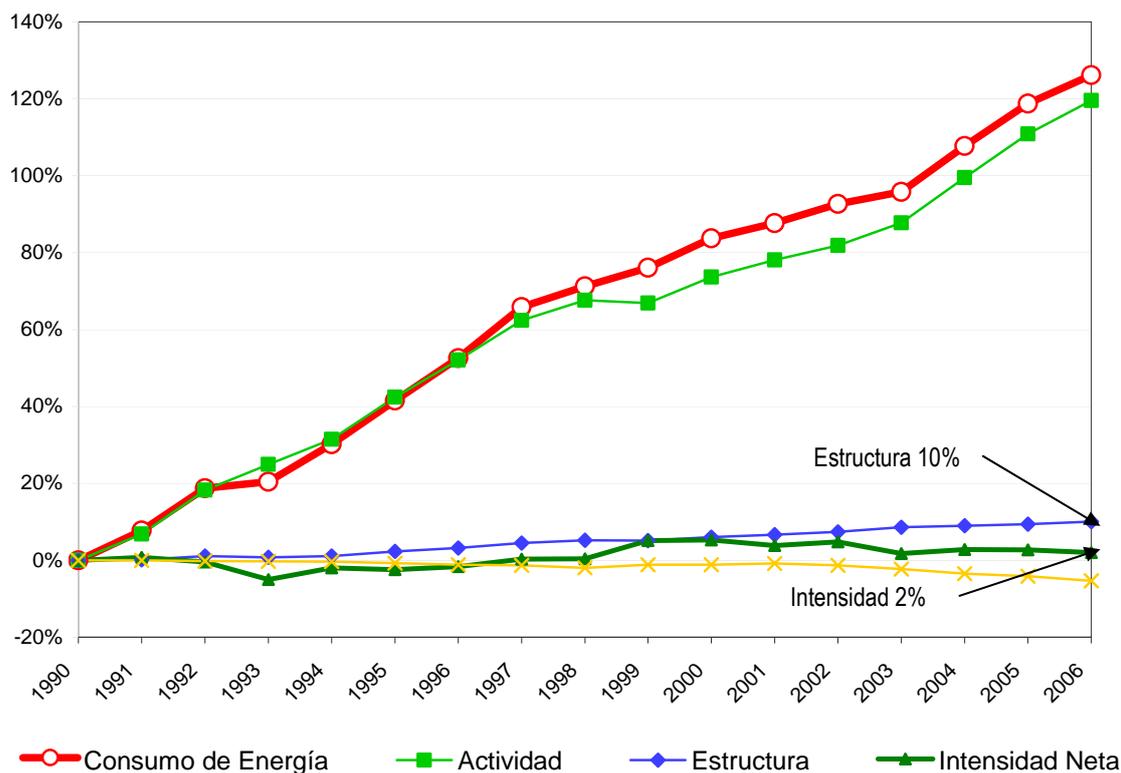
Sector	1990		2006	
	kTep	%	kTep	%
Industria	2.477	15%	5.391	15%
Minería	1.421	9%	3.171	9%
Servicios	5.909	36%	14.393	40%
Transporte	3.594	22%	8.153	23%
Residencial	3.081	19%	5.006	14%
<b>Total</b>	<b>16.483</b>	<b>100%</b>	<b>36.114</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia en base a Balances Nacionales de Energía

<sup>21</sup> Esta aseveración puede relativizarse como consecuencia del comentario anterior acerca de la forma de estimar el consumo de leña en el BNE.

La observación del Cuadro 13 permitiría señalar que el aumento sostenido del consumo de energía puede ser explicado por el aumento en la producción. Sin embargo, el análisis de la intensidad pura permite explicar las diferencias en los ritmos de crecimiento al tomar en cuenta los cambios estructurales, como se muestra en la Figura 14.

Figura 14: Descomposición del consumo energético a nivel macroeconómico



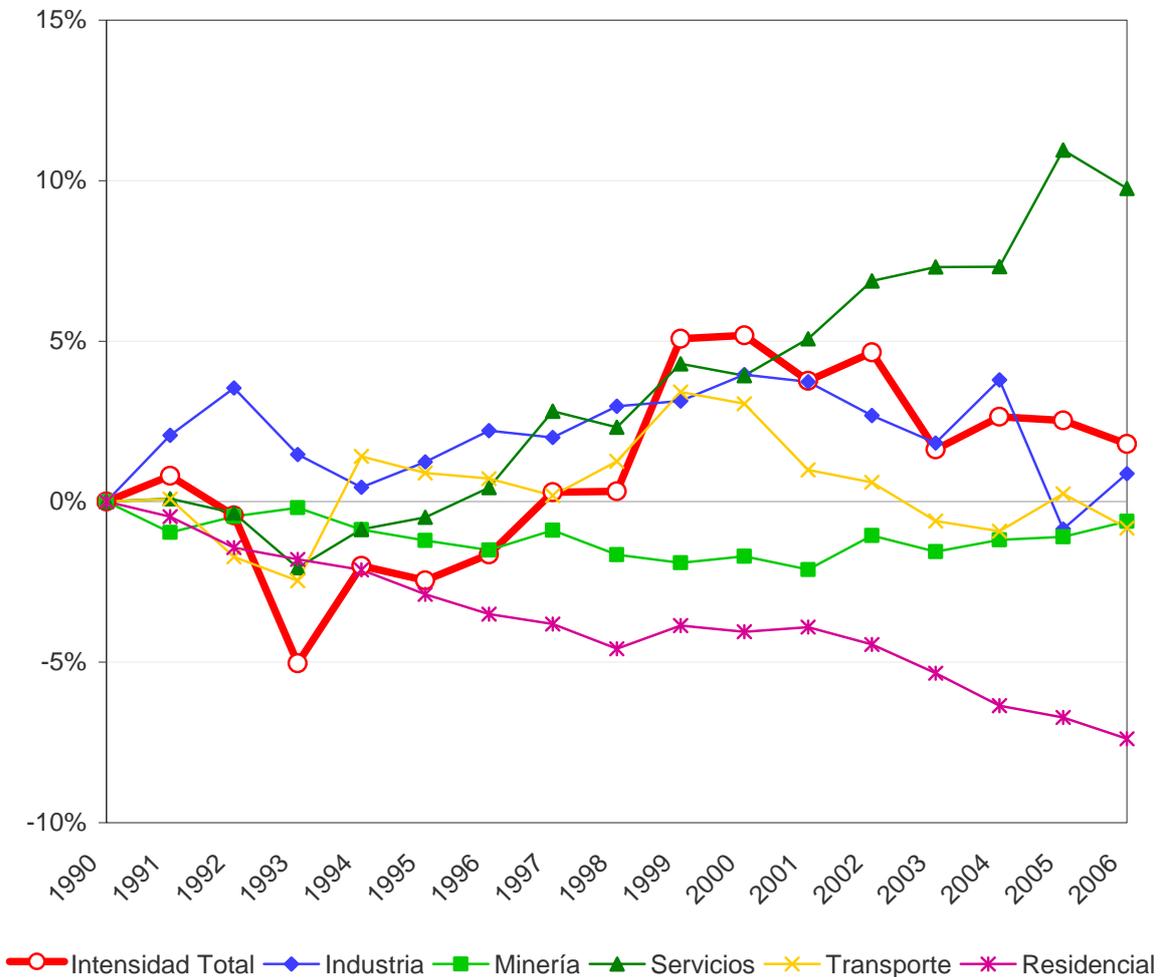
Fuente: Elaboración propia

De la Figura 14 se desprende que las variaciones del consumo de energía se explican principalmente por el aumento de la actividad. Sin embargo, se notan también cambios estructurales en la economía que se hacen notorios a partir de 1997, momento a partir del cual el crecimiento de la economía no basta para explicar el aumento en el consumo energético. Durante ese período los sectores energointensivos adquieren una mayor importancia relativa, es el caso, principalmente, de la industria del cobre.

La evolución eventual de la intensidad energética, a nivel macroeconómico, no influye significativamente en la evolución del consumo de energía. En la primera mitad del período, la intensidad energética muestra una tendencia levemente decreciente, para volver a crecer en la segunda mitad del período, lo que encuentra su explicación también en el aumento de la importancia relativa de sectores energointensivos.

La Figura 15 muestra la evolución de la intensidad energética y de los distintos sectores de la economía. Más abajo se comenta la incidencia de dichas variaciones sobre la intensidad total

Figura 15: Variación porcentual de la componente de Intensidad Energética del Índice de Consumo Energético



Fuente: Elaboración propia

La figura anterior indica que el sector residencial muestra una tendencia a la baja en la intensidad energética<sup>22</sup>. Por otro lado, el sector servicios presenta un constante aumento de la variación porcentual de este indicador, llegando a un máximo en el año 2005 debido a la crisis en el abastecimiento de gas natural, después desciende levemente, probablemente debido, a pesar de haber tratado de aislar este efecto, al aumento de la importancia del parque térmico de generación de electricidad por sobre el parque hidráulico. En el caso de la minería, durante todo el periodo, el indicador intensidad energética se mantiene por debajo del valor alcanzado en el año 1990. En una primera etapa, la mejora de la eficiencia en la fundición, como resultante de un cambio en los procesos en ésta, se tradujo en una reducción significativa del consumo de combustibles, más adelante se produce un efecto compuesto, aumento de la intensidad eléctrica por el desarrollo de la refinación de óxidos y mantención de la mejora ya mencionada de eficiencia en la fundición.

<sup>22</sup> Afectado por la teórica caída relativa del consumo de la leña en el caso residencial.

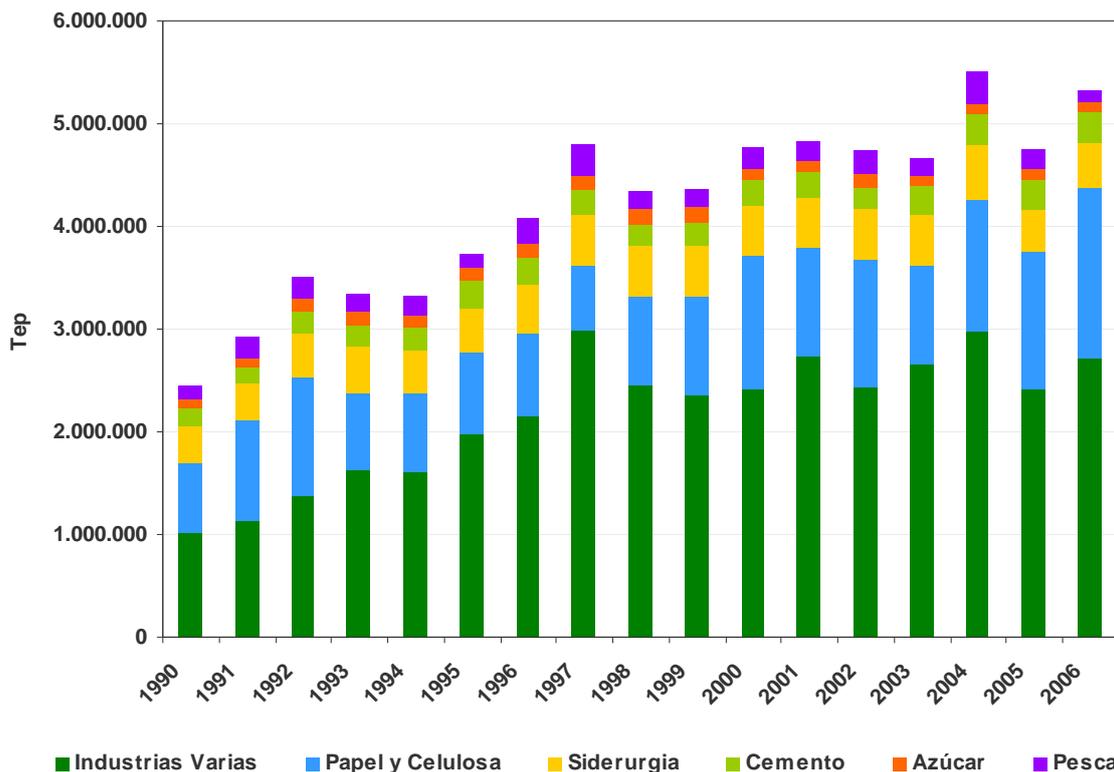
Si se pretende identificar que subsector es el más influyente en el comportamiento global de la intensidad energética, es necesario dividir el periodo de estudio en 2. El primero desde 1990 hasta 1999, donde el sector más influyente es servicios. Sin embargo desde 2000 en adelante se nota más claramente la influencia del sector industrial y del sector transporte por sobre los servicios.

## 8.2 Análisis sectorial

### 8.2.1 Sector Industrial

En la Figura 16 es posible observar la evolución de los consumos de energía en el sector industrial. A primera vista es fácil notar que el subsector Industrias Varias representa alrededor de la mitad del consumo energético sector. De esta manera parecería recomendable separar algunas industrias importantes del subsector, por ejemplo, la industria alimenticia, sin embargo, al no tener suficiente información energética de las ramas, resulta imposible realizar la desagregación.

Figura 16: Evolución del consumo energético para el sector industrial



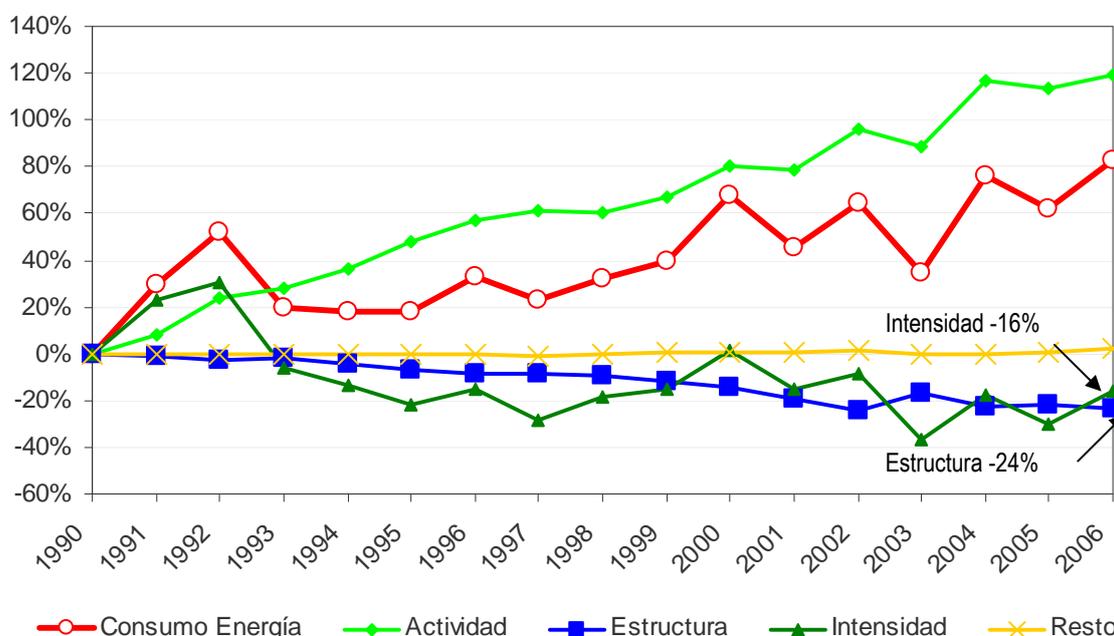
Fuente: Elaboración propia en base a datos del Balance Nacional de Energía

Las industrias consideradas relevantes para un análisis más detallado, debido a su participación en el consumo de energía, son: Papel y Celulosa, Siderurgia, Cemento, Azúcar y Pesca.

Dado que no se dispuso de información de Valor Agregado para el subsector Cemento, el Banco Central considera esta industria en conjunto con todas aquellas que fabrican productos a partir de minerales no metálicos, a su vez para la estimación de la intensidad energética de los subsectores Papel y Celulosa, Siderurgia, Azúcar y Pesca se utilizaron los datos de valor agregado de la Matriz de Insumo-Producto.

El gráfico siguiente muestra la evolución porcentual del consumo de energía del conjunto de estos subsectores. Se observa que si bien éste ha aumentado alrededor de un 80% en el período en cuestión, el nivel de actividad estimado aumentó en casi un 120%. Esta diferencia entre actividad y consumo energético puede ser explicada por el cambio estructural, el que se hace patente a partir del año 1997. Así el cambio en la intensidad energética que alcanza un mínimo de -40%, y que se mantiene oscilando en torno a -20%.

Figura 17: Descomposición del consumo energético de las industrias seleccionadas<sup>23</sup>



Fuente: Elaboración propia

Es posible observar en la Figura 18 que la industria del Papel y Celulosa es la única rama industrial de las consideradas que ha aumentado su intensidad<sup>24</sup>. Por otro lado, el resto de los subsectores considerados en este análisis han mostrado una clara tendencia a la baja, destacando la industria siderúrgica y la pesca por sobre la industria del azúcar.

<sup>23</sup> Como industrias seleccionadas se tiene: Papel y celulosa, Siderurgia, Azúcar y Pesca

<sup>24</sup> Ello puede deberse a las variaciones del precio internacional de la Celulosa, ya que el consumo específico cayó significativamente en el período.

En principio, la variación negativa de la intensidad energética en el periodo se explicaría por el aumento en el consumo de gas natural y la disminución de la importancia relativa de la leña<sup>25</sup>, como se muestra en el Cuadro 14. Si la caída del consumo de leña es real, aunque sea parcialmente efectiva, debe señalarse que la combustión de la leña se realiza en forma muy ineficiente, lo que no ocurre con la combustión del gas natural. Refuerza lo anterior la disminución de la importancia relativa del carbón y el aumento de la electricidad.

Cuadro 14: Variación de la distribución del consumo de energéticos para el sector industrial<sup>26</sup>

	1990		2006	
	Tcal	Participación (%)	Tcal	Participación (%)
Derivados del petróleo y GN	6.570	26%	13.663	25%
Electricidad	4.441	18%	13.609	25%
Carbón	4.083	16%	3.373	6%
Coke	1.746	7%	2.620	5%
Alquitrán <sup>27</sup>			0	0%
Gas corriente	663	3%	892	2%
Gas altos hornos	571	2%	258	0%
Gas natural	32	0%	5.900	11%
Metanol	152	1%	553	1%
Leña y otros	6.745	27%	13.048	24%
<b>Total</b>	<b>25.003</b>	<b>100%</b>	<b>53.916</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la CNE

Las variaciones en el indicador intensidad energética a nivel de las ramas afectan la intensidad total (Figura 18), ello es especialmente cierto en el caso de la celulosa. Las variaciones por ramas serán tratadas más adelante.

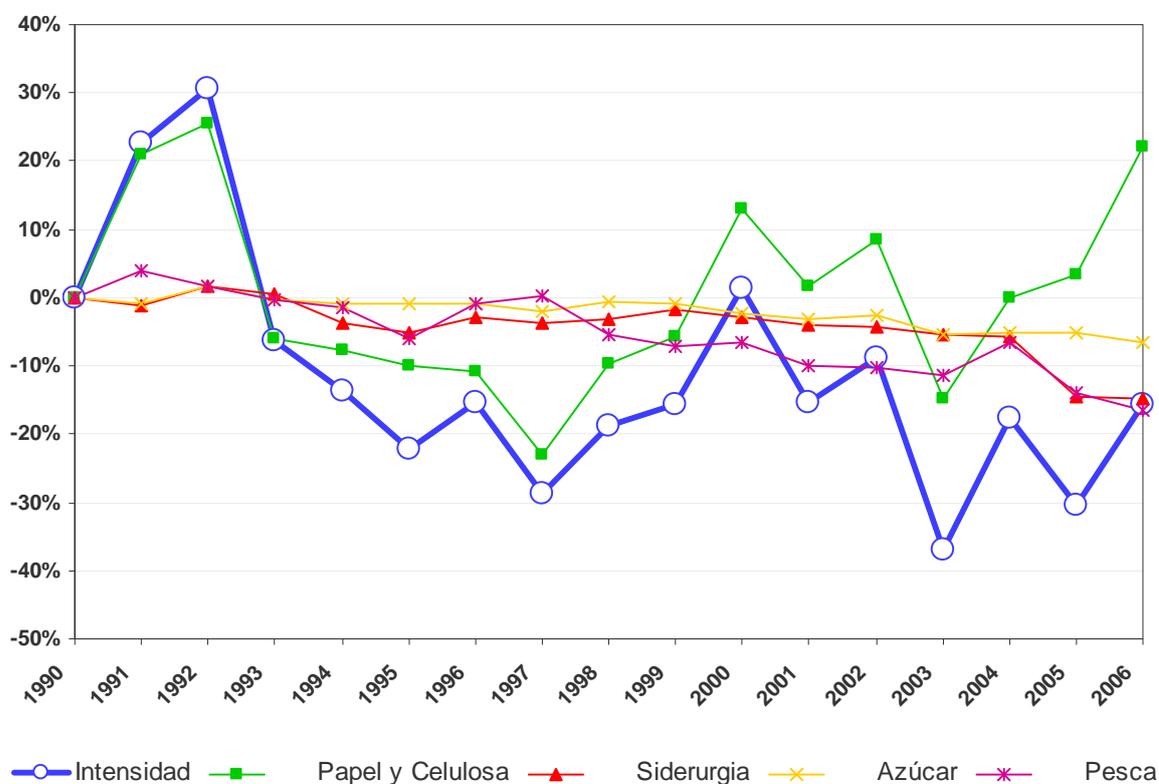
<sup>25</sup> Recordar comentario respecto de la estimación del consumo de la leña, no es el caso de la celulosa donde dicha estimación es bastante más precisa.

<sup>26</sup> La información del consumo de "Industrias varias" y de "Minas varias" sólo aparece desagregada desde el año 1997 en adelante. Para esta tabla se considera que el consumo de energéticos con respecto al total del ítem "industrias y minas varias" que entrega la CNE es el siguiente:

- de derivados de petróleo de industrias varias es el 75%
- de electricidad de industrias varias es el 80%
- del resto de los energéticos el consumo de industrias varias es el 100%

<sup>27</sup> Para el año 1990 aparecen juntos los consumos de coque y alquitrán

Figura 18: Variación porcentual de la componente de Intensidad Energética del Índice de consumo energético



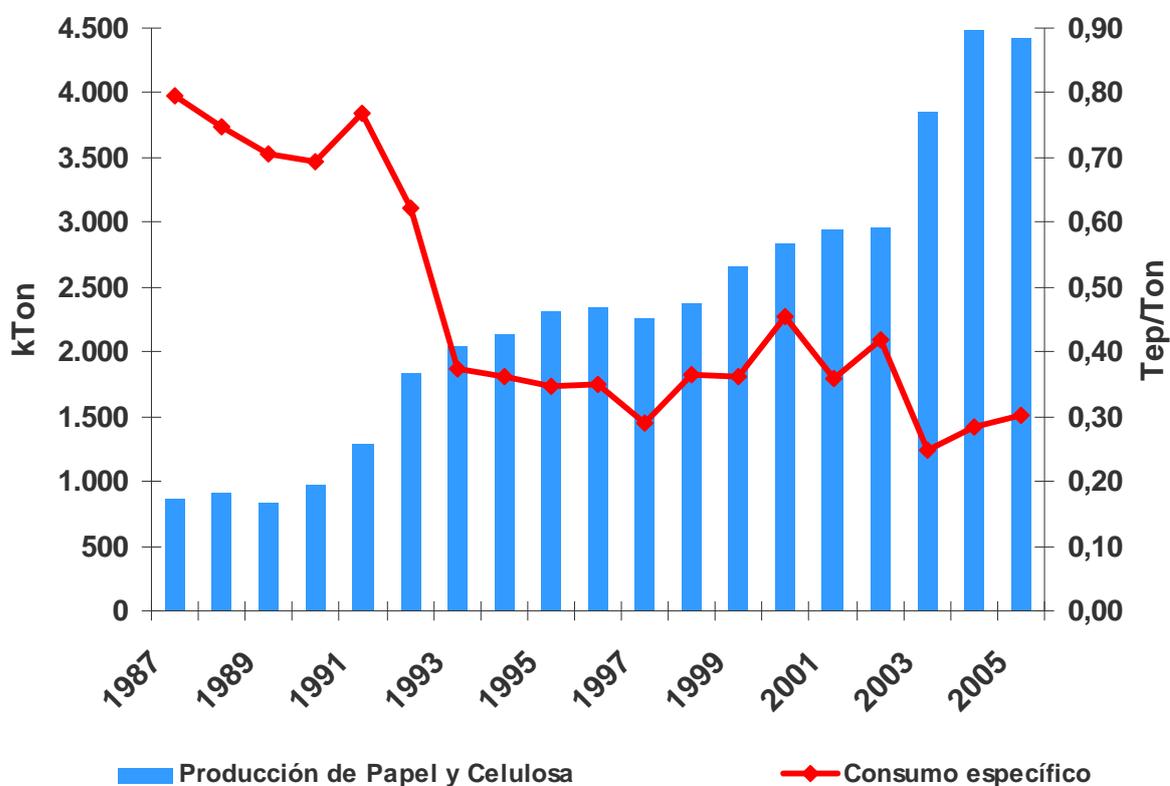
Fuente: Elaboración propia

### 8.2.1.1 Subsector Papel y celulosa

Para evaluar el comportamiento de la rama se construye la figura siguiente. En ella se muestra la evolución de la producción y del consumo específico. Sin embargo, la información disponible con respecto a la producción física del sector sólo está disponible hasta el año 2005, por lo tanto no es posible realizar este análisis para el año 2006. Por otro lado, para poder realizar un mejor análisis de la evolución del consumo de energéticos de la rama Papel y Celulosa se amplía el periodo estudiado comenzando en el año 1987.

En lo que respecta a Papel y Celulosa, se puede señalar que la Figura 18 y la Figura 19 han sido elaboradas en bases distintas y, por ende, no son comparables, ya que la primera corresponde a la evolución de la intensidad energética (determinada por el VA y, en este caso, a los precios internacionales), en cambio la segunda depende de las mejoras de los procesos existentes y de la modernización de la rama.

Figura 19: Evolución de la producción y el consumo específico para la industria del papel y celulosa



Fuente: Elaboración propia

Es posible distinguir (Figura 19) 2 periodos bien definidos en lo que al índice consumo específico se refiere. El cambio en la pendiente, ocurrido en 1991, encuentra su explicación en la puesta en funcionamiento de 2 plantas modernas en el año 1991<sup>28</sup>, las cuales incorporaron tecnologías más eficientes, haciendo caer el indicador de consumo de energía por unidad de producto. Luego de ese año, otras plantas han entrado en operación, reemplazando paulatinamente en su producción a las antiguas, lo que se ha traducido en un consumo específico que oscila en torno a las 0,35 Tep/Ton<sup>29</sup>.

<sup>28</sup> A partir de 1991 se produce prácticamente la renovación del parque, lo que determina una caída del consumo específico a valores inferiores a la mitad de los existentes antes de 1991.

<sup>29</sup> Incluso la entrada de las plantas Valdivia, Nueva Aldea y Santa Fe II contribuyen a la caída del coeficiente de consumo específico de los últimos años analizados.

Cuadro 15: Información plantas productoras de celulosa

Planta	Año en operación	Producción anual Miles de tons
Laja	1959	365.000
Arauco I	1971	290.000
Constitución	1975	335.000
Arauco II	1991	500.000
Santa Fe I	1991	375.000
Pacífico	1992	500.000
Licancel	1994	140.000
Valdivia	2004	550.000
Nueva Aldea	2006	856.000
Santa Fe II	2006	780.000

Fuente: Universidad de Concepción

### 8.2.1.2 Subsector siderurgia

En el Cuadro 16 es posible apreciar la variación de la canasta de energéticos consumidos por el sector siderúrgico, los principales cambios corresponden a la introducción del gas natural, la disminución en el uso de gas de altos hornos y el aumento en el consumo de Coke y Alquitrán.

Cuadro 16: Energéticos consumidos por el sector siderúrgico, en tercalorías

	1990		1995		2000		2006	
Derivados Petróleo	382	10,9%	339	8,1%	387	7,7%	215	5,0%
Electricidad	284	8,1%	353	8,4%	610	12,1%	494	11,5%
Coke y Alquitrán	1650	47,0%	1856	44,4%	2288	45,6%	2328	54,3%
Gas Corriente	625	17,8%	959	22,9%	951	18,9%	892	20,8%
Gas de altos hornos	571	16,3%	675	16,1%	706	14,1%	258	6,0%
GN	0	0,0%	0	0,0%	80	1,6%	98	2,3%
Total	3512	100%	4182	100%	5022	100%	4285	100%

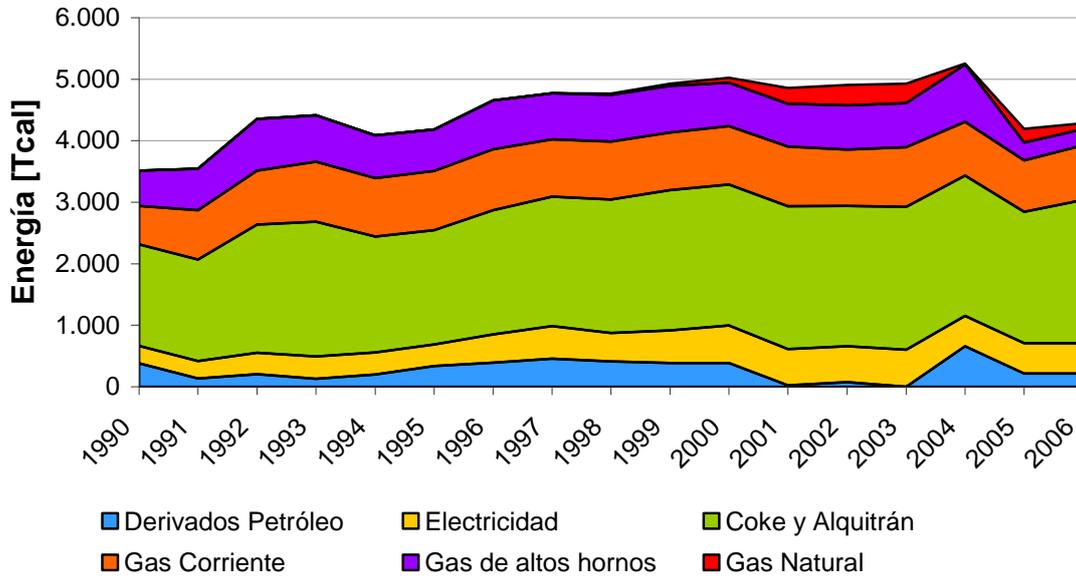
Fuente: Balances Nacionales de Energía

En la Figura 20 es posible apreciar que entre los años 2001 y 2003 cobra importancia el gas natural, con un consumo que osciló en torno a las 300 Tcal. En esos mismos años el consumo de petróleo se redujo drásticamente, totalizando un consumo de solo 101 Tcal en los mismos 3 años (26 Tcal en 2001, 74 Tcal en 2002 y 1 Tcal en 2003). Luego de esta considerable baja, en el año 2004 el consumo de derivados del petróleo alcanza el máximo del periodo, totalizando un consumo de 657 Tcal, siendo este el año de mayor consumo de energía en el periodo estudiado. Esto coincide con una baja importante caída en el consumo de gas natural. Se estima que el alto consumo de combustibles de ese año se debe a que el sector no estaba preparado para el corte en el suministro de GN, por lo tanto, se vio afectado el consumo total de energía.

Por otro lado, en la Figura 21 se aprecia un aumento sostenido en la producción, a lo largo del periodo, y una caída más o menos lineal en el consumo específico. Esto no sólo se debe a la mejora de procesos en el sector, si no que también al aumento en la participación de la producción de acero

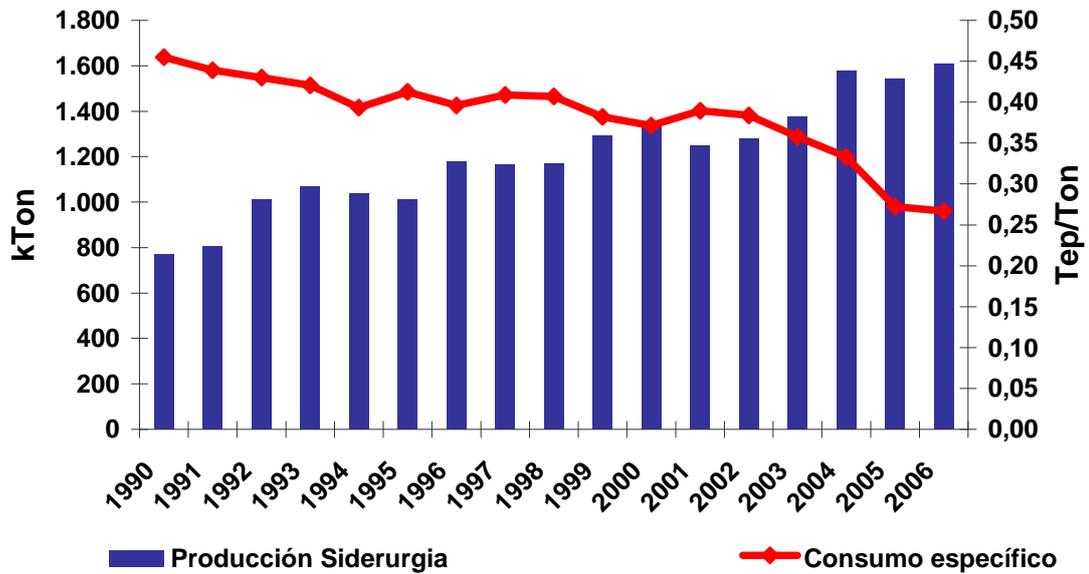
a partir de chatarra, dado que este proceso tiene un consumo específico de energía claramente inferior que el que corresponde al proceso integrado, a partir de mineral.

Figura 20: Energéticos consumidos por el sector siderúrgico en el periodo



Fuente: Balances Nacionales de Energía, CNE

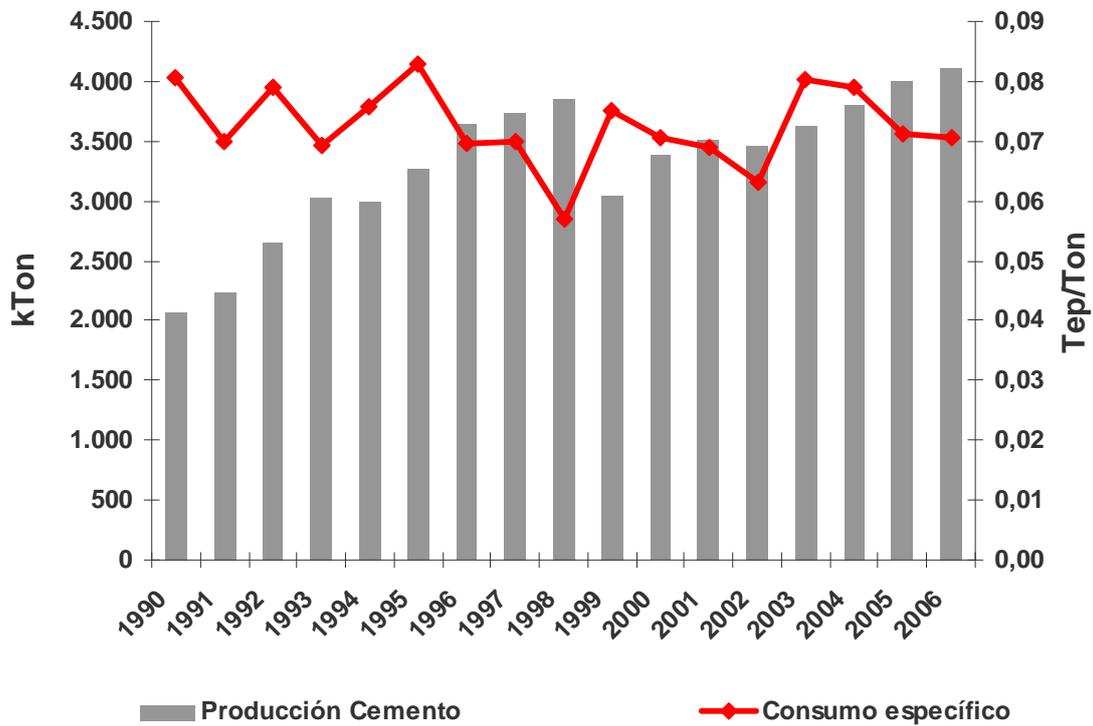
Figura 21: Consumo específico y producción siderúrgica



### 8.2.1.3 Subsector cemento

En este subsector es necesario tener en cuenta que los grandes cambios de proceso ocurrieron en los años '80, al pasar del proceso vía húmeda al proceso de vía seca, lo que permitió reducir drásticamente los consumos específicos en combustibles del orden de 2.200 a 860 kcal/kg de clinker y aumentar, sólo ligeramente, el consumo de electricidad.

Figura 22: Consumo específico y producción de la industria del cemento

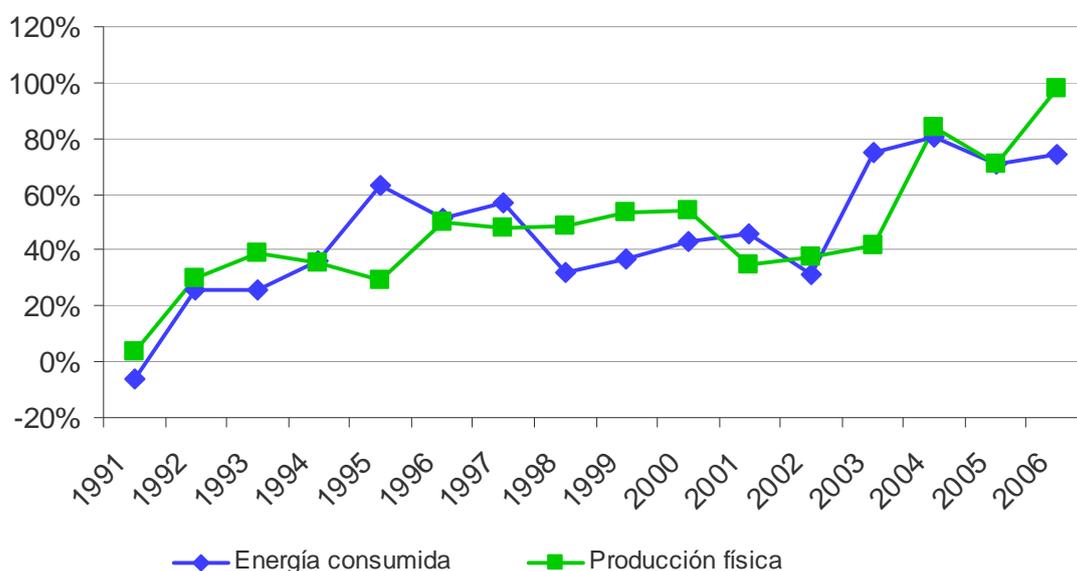


Fuente: Elaboración propia

La Figura 23 compara las fluctuaciones del consumo específico con las fluctuaciones de la producción, pudiéndose deducir que en este tipo de procesos la caída de la producción implica un aumento del consumo específico del horno de clinker (principal fuente de consumo de energía)<sup>30</sup>.

<sup>30</sup> El horno de clinker tiene que mantener las temperaturas interiores y seguir girando, independientemente del volumen de producción, salvo que se detenga el horno, lo que sólo ocurre para las mantenciones periódicas o situaciones excepcionales.

Figura 23: Variación porcentual de la producción y el consumo de energía para la industria de cemento



Fuente: Elaboración propia

#### 8.2.1.4 Industria del Azúcar

Los consumos de energía de esta industria se encuentran centrados principalmente en el carbón como es posible apreciar en el Cuadro 17 y la Figura 24, siendo el segundo energético en importancia los derivados del petróleo (petróleos combustibles), seguido por la electricidad y en el último lugar, el coke.

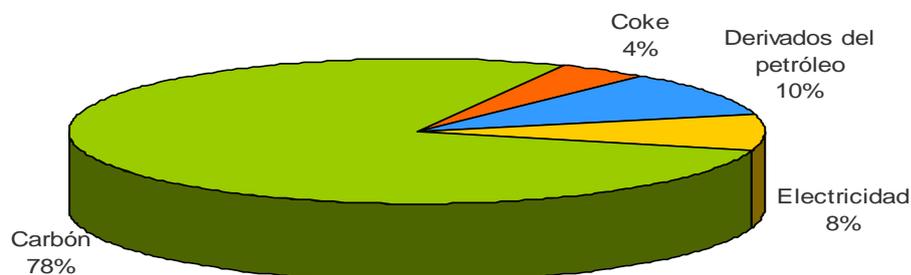
Los consumos de cada energético en Tcal en distintos años del periodo en el sector azúcar son mostrados en el cuadro siguiente.

Cuadro 17: Consumos en el subsector azúcar

	1990		1995		2000		2006	
	(Tcal)	%	(Tcal)	%	(Tcal)	%	(Tcal)	%
Derivados del petróleo	0	0%	92	7,2%	110	8,8%	98	10,1%
Electricidad	61	6,0%	93	7,3%	66	5,3%	80	8,2%
Carbón	802	78,4%	992	78,0%	1036	82,5%	750	77,5%
Coke y Alquitrán	57	5,6%	71	5,6%	43	3,4%	40	4,2%
Leña y otros	103	10,1%	23	1,8%	0	0,0%	0	0,0%
<b>Total Energéticos</b>	<b>993</b>	<b>100,0%</b>	<b>1.271</b>	<b>100,0%</b>	<b>1.255</b>	<b>100,0%</b>	<b>968</b>	<b>100,0%</b>

Fuente: Balance de Energía, CNE

Figura 24: Energéticos utilizados en el subsector azúcar, año 2006

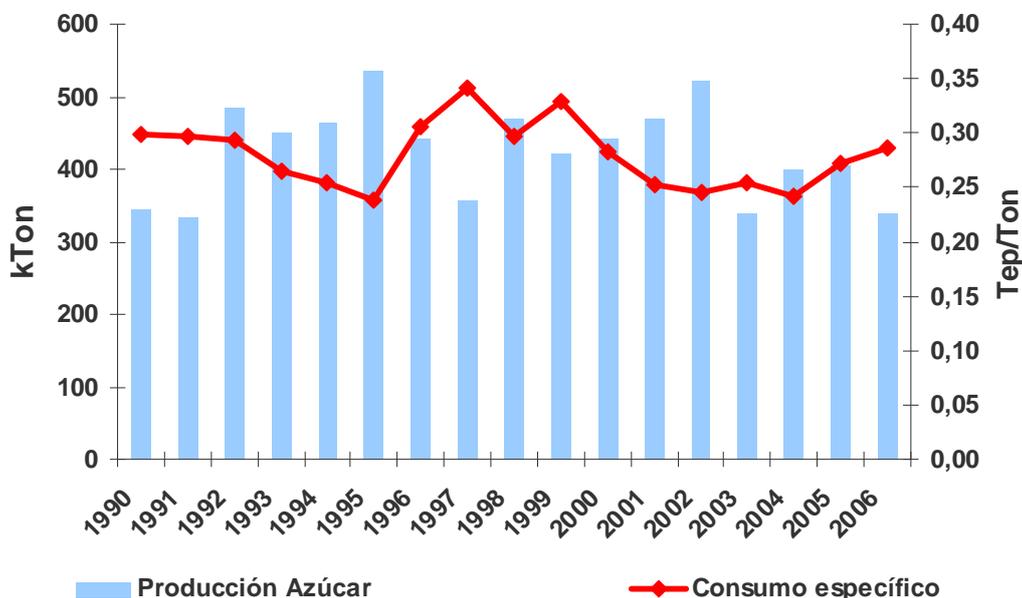


Fuente: Balance Nacional de Energía, CNE

En la Figura 25 se contrasta la evolución de la producción física y el consumo específico de la industria del azúcar, pudiéndose apreciar variaciones contrapuestas de ambos indicadores. Es decir, el consumo específico disminuye cuando sube la producción y viceversa. El mayor consumo específico registrado en los años de menor producción se debe a que:

- 1.- la energía consumida durante la producción no decae proporcionalmente con una baja en la actividad pero si la eficiencia de los equipos, ya que, la eficiencia de los equipos cae si no son usados a plena carga.
- 2.- existe una cantidad de energía que no es consumida por el proceso productivo en si, como por ejemplo iluminación y calefacción, por lo tanto, si la producción cae estos consumos no se alteran.

Figura 25: Producción y consumo específico de la industria azucarera



Fuente: Elaboración propia

## 8.2.2 Sector minero

El consumo de energía en este sector está influenciado directamente por los cambios que ocurren en el sector del cobre, pudiéndose apreciar en el cuadro 18 que la estructura de consumos de energía entre cobre y otros se ha mantenido relativamente constante. Sin embargo, se observa que en el periodo ha habido una variación en la distribución de los consumos del "Resto", apreciándose un crecimiento en la importancia relativa de "Minas Varias", con la consiguiente caída de los consumos de energía del hierro y el salitre.

Cuadro 18: Distribución de los consumos de energía en la minería

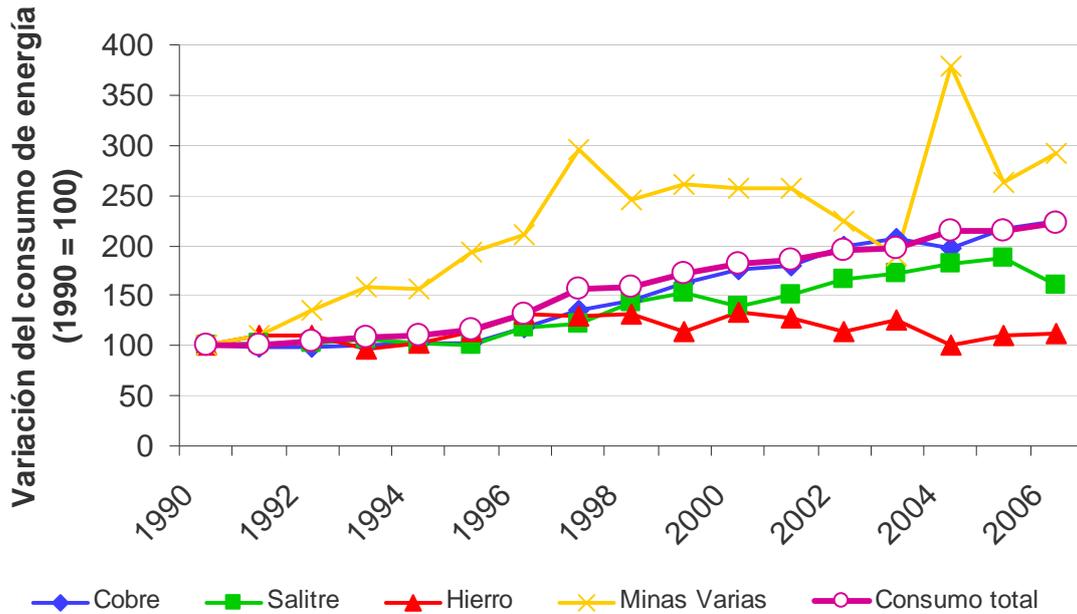
	1990	2006
Cobre	74%	75%
Resto	26%	25%
Salitre	6%	4%
Hierro	6%	3%
Minas Varias	14%	18%

Fuente: Balance Nacional de Energía, CNE

En el periodo estudiado, el consumo de energía en el sector creció a un ritmo de promedio de 5,3%. En la Figura 26 se aprecia lo íntimamente ligados que están los consumos de energía de la minería

del cobre y del conjunto del sector minero, en efecto, ambas curvas se comportan de manera casi idéntica. Además de la observación de dicha figura se aprecian 2 periodos; el primero entre 1990 y 1994 donde el consumo de energía se mantiene prácticamente constante y un segundo periodo, desde 1995 hasta 2006, donde se advierte un aumento sostenido en el consumo de energía, debido fundamentalmente a la expansión de la producción del cobre.

Figura 26: Evolución del consumo de energía con respecto a 1990 (1990 = 100)



Fuente: Elaboración propia en base al Balance Nacional de Energía, CNE

En efecto, el Cuadro 19 resume las principales faenas que fueron abiertas a partir del año 1994 o que entrarán en operación próximamente. La información disponible permite vislumbrar grandes perspectivas de desarrollo para el sector y, por lo tanto, esperar que el crecimiento en la demanda de energía del sector se mantenga en el tiempo.

Cuadro 19: Nuevas faenas mineras

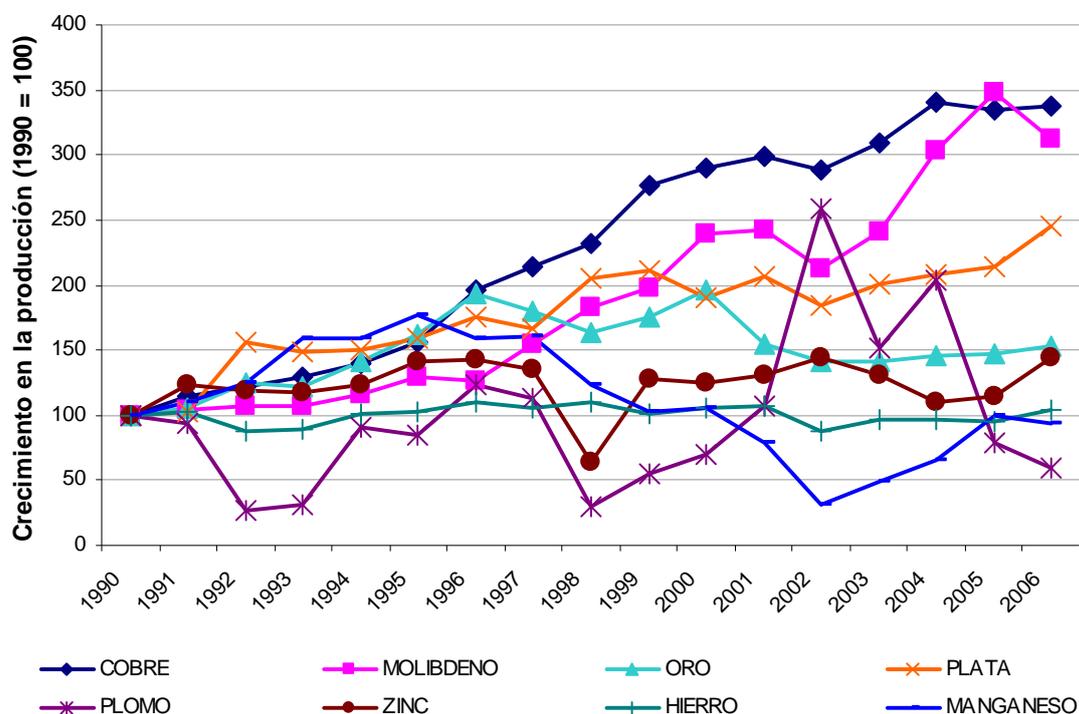
Faena	Año de inicio de operaciones
Cerro Colorado (*)	1994
Quebrada Blanca (*)	1994
La Candelaria (*)	1994
Zaldivar (*)	1995
Manto Verde (*)	1995
Andacollo (*)	1996
Collahuasi (*)	1998
El Abra (*)	1996
Radomiro Tomic (*)	1998
Lomas Bayas (*)	1998
Plan desarrollo el Teniente (**)	2003 a 2007
Escondida Norte (**)	2005
Refugio (**)	2005
Choquelimpie (**)	2005
Spence (**)	2006
Escondida, lixiviación de sulfuros (**)	2006
Gaby (**)	2007
Ministro Alejandro Hales (**)	2007
Expansión Andina (**)	2008
Esperanza (**)	2009
Ampliación de Pelambres (**)	2009
Pascua - Lama (**)	2009

Fuente: (\*) CNE, 2002

(\*\*) Página web de COCHILCO, 2007

La Figura 27 muestra el desarrollo de la minería metálica, destacando el crecimiento de la producción de cobre y la de molibdeno, las cuales normalmente están ligadas entre sí.

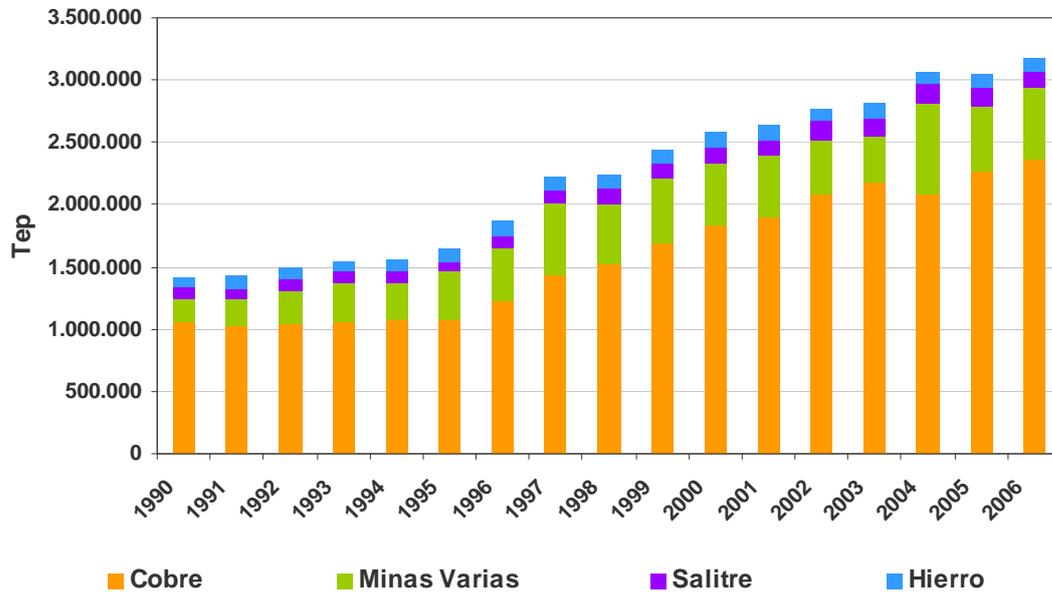
Figura 27: Evolución de la producción para la minería metálica



Fuente: Elaboración propia en base a datos de COCHILCO

Por otro lado, en la Figura 28 se aprecia la evolución del consumo de energía en el periodo para cada uno de los subsectores considerados, destacando la importancia de la minería del cobre y de las minas varias, que en el año 2006 alcanzan un 18% del consumo del sector.

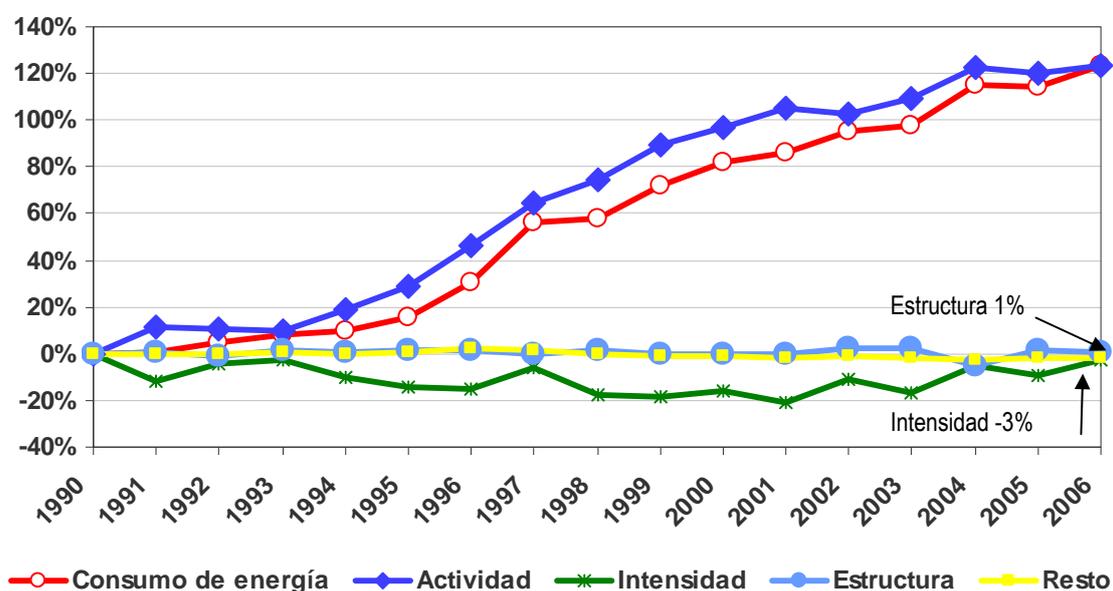
Figura 28: Evolución del consumo de la energía en el sector minero



Fuente: Balance Nacional de Energía, CNE

La figura siguiente muestra la evolución del índice de consumo energético para el sector minero. En él se aprecia que el consumo de energía se encuentra influenciado principalmente por el aumento en la actividad Sin embargo, los cambios de proceso que se han producido en la industria del cobre (acelerado crecimiento de la explotación de óxidos y práctica eliminación de los hornos de reverbero en la fundición) han reducido significativamente su consumo de energía por unidad de producto (efecto de intensidad pura) y a que, adicionalmente, ha aumentado su participación el en producto del sector (efecto estructural), la tasa de crecimiento del consumo de energía en el período analizado.

Figura 29: Descomposición del consumo de energía en el sector minero

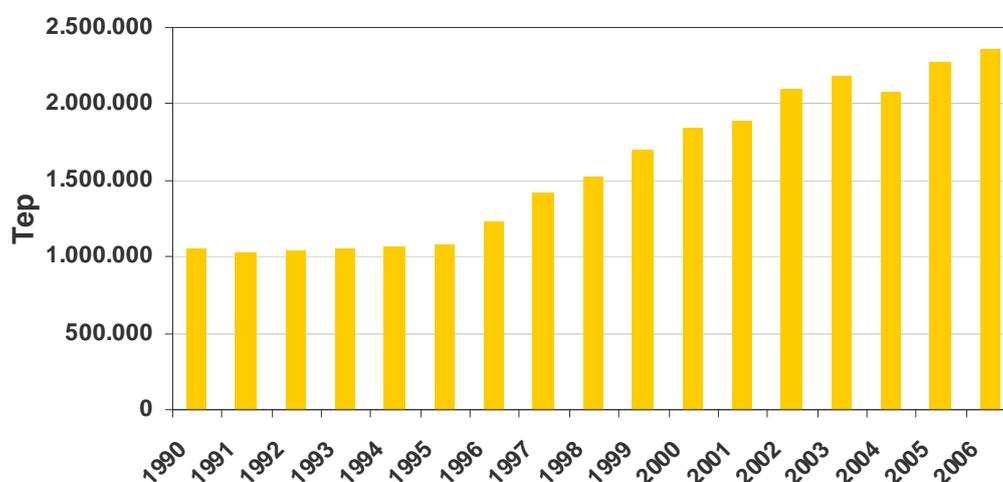


Fuente: Elaboración propia

### 8.2.2.1 Industria del cobre

En 1990 la industria del cobre consumió 1.051.300 Tep, cifra que se ha incrementado en un 125% al 2006 a una tasa media anual de 5,3%. Sin embargo, como fue mencionado anteriormente, hasta el año 1995 el consumo se mantuvo relativamente constante y a partir de 1996, se aprecia un crecimiento sostenido en el consumo de un 8,3%.

Figura 30: Evolución del consumo de energía en la minería del cobre



Fuente: Balance Nacional de Energía, CNE

En los cuadros siguientes es posible apreciar la evolución de la producción de cobre según tipo de producto. En éstos es posible apreciar el crecimiento en la producción de cátodos SX – EW y que la producción de cátodos ER se mantiene relativamente constante en el periodo.

Es importante destacar que en el Anuario de COCHILCO se cambió la manera de publicar la información, dejando de aparecer por separado el cobre blister y concentrado a la venta. La manera de estimar la producción de estos productos puesta a la venta es la siguiente:

*Concentrado a la venta = Producción mina – Cátodos SX/EW – Producción de fundición - RAF*  
*Blister y ánodos a la venta = Producción de fundición – Cátodos ER*

Cuadro 20: Producción total de productos comercializables en la minería del cobre, en miles de toneladas métricas de cobre fino (TMF) 1990 - 1998

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Producción mina	1.588	1.814	1.933	2.055	2.220	2.489	3.116	3.392	3.687
Producción fundición	1.206	1.176	1.191	1.234	1.259	1.294	1.356	1.390	1.403
Blister y ánodos	258	219	238	280	327	321	362	279	305
Producción de refinado	1.191	1.228	1.242	1.268	1.277	1.492	1.748	2.117	2.335
Cátodos SX-EW	122	120	136	155	201	373	636	881	1.108
Cátodos E.R.	956	976	953	954	933	972	994	1.111	1.098
Refinado a fuego	90	115	129	133	120	123	119	125	129
Refinado Mantos Blancos	24	26	25	26	24	24	0	0	0
Concentrados a la venta	1.206	1.176	1.191	1.234	1.259	1.294	1.356	1.390	1.403

Fuente: COCHILCO, Anuario estadístico de 2006

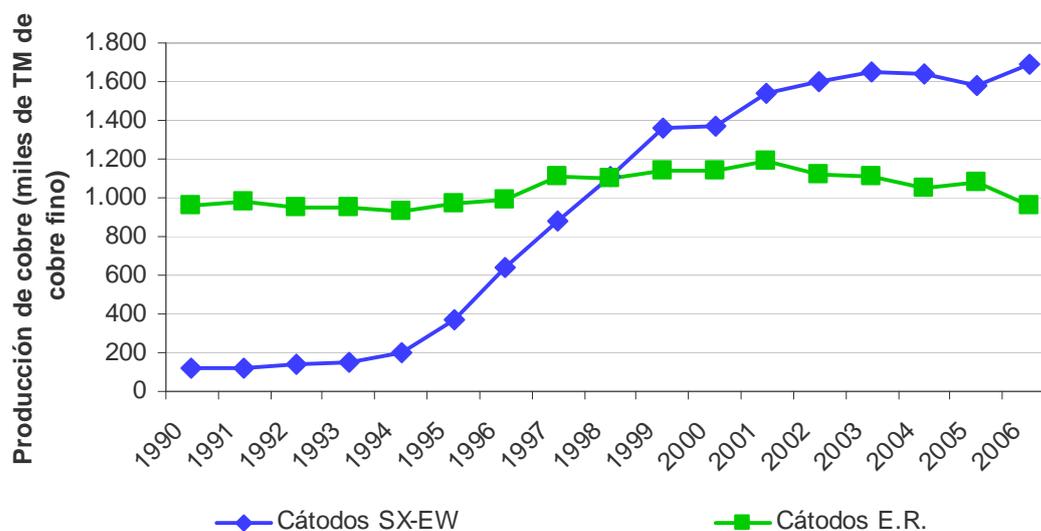
Cuadro 21: Producción total de productos comercializables en la minería del cobre,  
en miles de toneladas métricas de cobre fino (TMF) 1999 - 2006

Año	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Producción mina	4.391	4.602	4.739	4.581	4.904	5.413	5.321	5.361
Producción fundición	1.474	1.460	1.503	1.439	1.542	1.518	1.588	1.565
Blister y ánodos	333	324	316	323	435	467	481	607
Producción de refinado	2.666	2.668	2.882	2.850	2.902	2.837	2.824	2.811
Cátodos SX-EW	1.362	1.372	1.538	1.602	1.653	1.636	1.585	1.691
Cátodos E.R.	1.141	1.137	1.187	1.116	1.107	1.051	1.077	958
Refinado a fuego	163	159	157	133	141	150	162	161
Refinado Mantos Blancos	0	0	0	0	0	0	0	0
Concentrados a la venta	1.474	1.460	1.503	1.439	1.542	1.518	1.558	1.565

Fuente: COCHILCO, Anuario estadístico de 2006

Cabe tener presente que los principales cambios en el subsector se asocian a la creciente producción de cobre refinado a través de hidrometalurgia, como se muestra en el siguiente gráfico. Al respecto, hay que destacar que los procesos hidrometalúrgicos son altamente consumidores de energía eléctrica<sup>31</sup> y muy poca energía térmica.

Figura 31: Evolución en la obtención de cátodos Electro refinados y Electro obtenidos

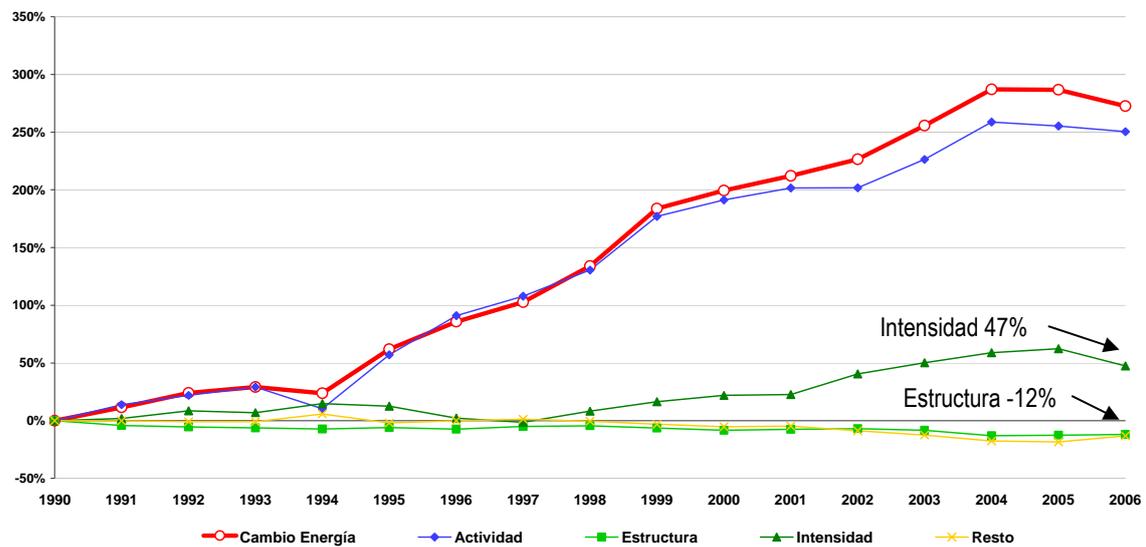


Fuente: Elaboración propia en base a datos de COCHILCO

El índice de consumo energético asociado al consumo eléctrico se muestra en la Figura 32, considerando como variable actividad el nivel de producción de cada producto de cobre comercializable. En la figura se puede observar que el consumo de energía eléctrica ha crecido alrededor de un 270% en el periodo y que ese crecimiento ha sido conducido principalmente por el aumento en la producción de cátodos SX-EW, lo que ha acarreado un aumento de la intensidad eléctrica total y neta.

<sup>31</sup> Básicamente en los procesos de extracción por solventes (SX) y el electrowining (EW).

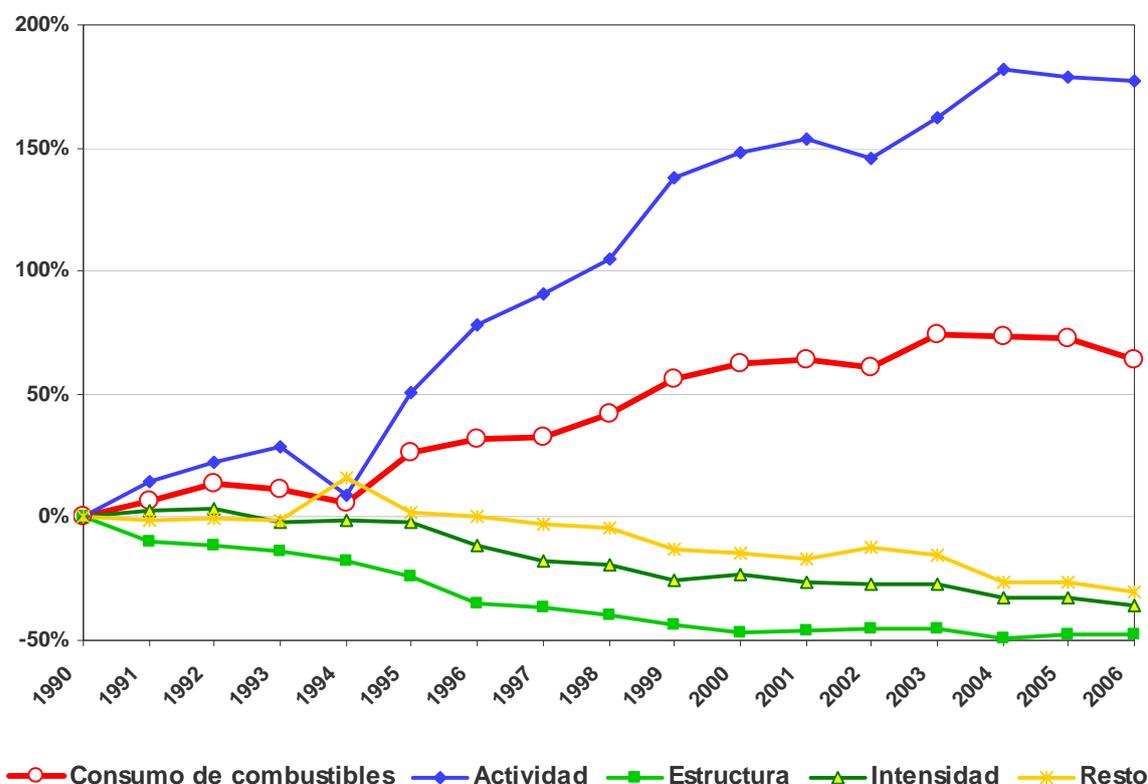
Figura 32: Descomposición del consumo de energía eléctrica en el subsector cobre



Fuente: Elaboración propia

La intensidad energética asociada consumo de combustibles, calculada de la misma manera de la intensidad para el consumo eléctrico, es negativa, debido a las razones ya indicadas: mayor crecimiento relativo de los procesos hidrometalúrgicos y reemplazo de los hornos de reverbero por hornos de consumo de combustibles casi nulo.

Figura 33: Descomposición del consumo de combustibles en el subsector cobre



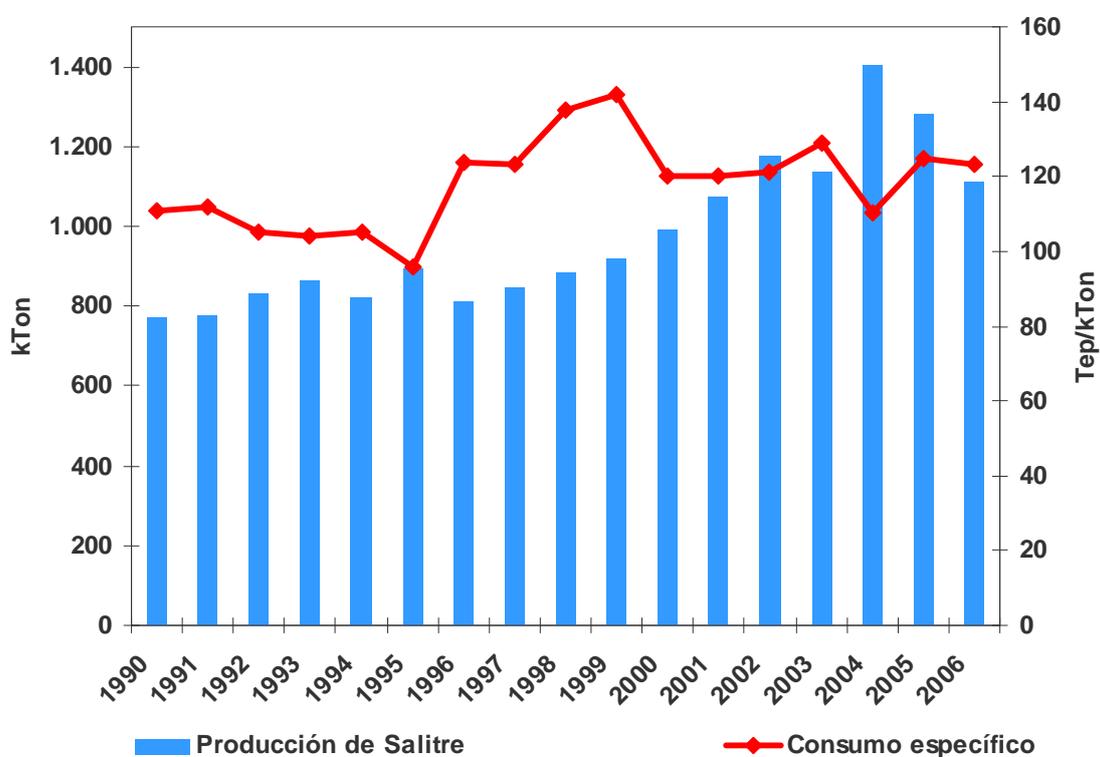
Fuente: Elaboración propia

### 8.2.2.2 Industria del Salitre

Para el análisis de este subsector se construyó el indicador Consumo Específico, el cual se muestra en la figura siguiente, acompañado de la producción subsectorial.

No se observan grandes variaciones ni de producción ni del consumo específico, sólo se advierte que la inercia asociada al consumo de energía hace que en los momentos en que cae la producción aumenta en consumo específico, para luego bajar nuevamente, como ocurre en el caso del cemento. Además, como se muestra en el cuadro 22, a partir del año 2001 el reemplazo de los derivados del petróleo por gas natural contribuye a reducir el consumo específico de energía en la minería del salitre. A partir del año 2002, el gas natural ya abastece sobre el 50% de los requerimientos energéticos de esta rama de actividad. Es difícil afirmar que esta situación se mantendrá a futuro, dadas las incertidumbres respecto del abastecimiento del gas natural y de la relación de precios relativos entre el GNL y el petróleo.

Figura 34: Producción y consumo específico para el subsector salitre



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 22: Evolución del consumo de Energéticos en la minería del Salitre

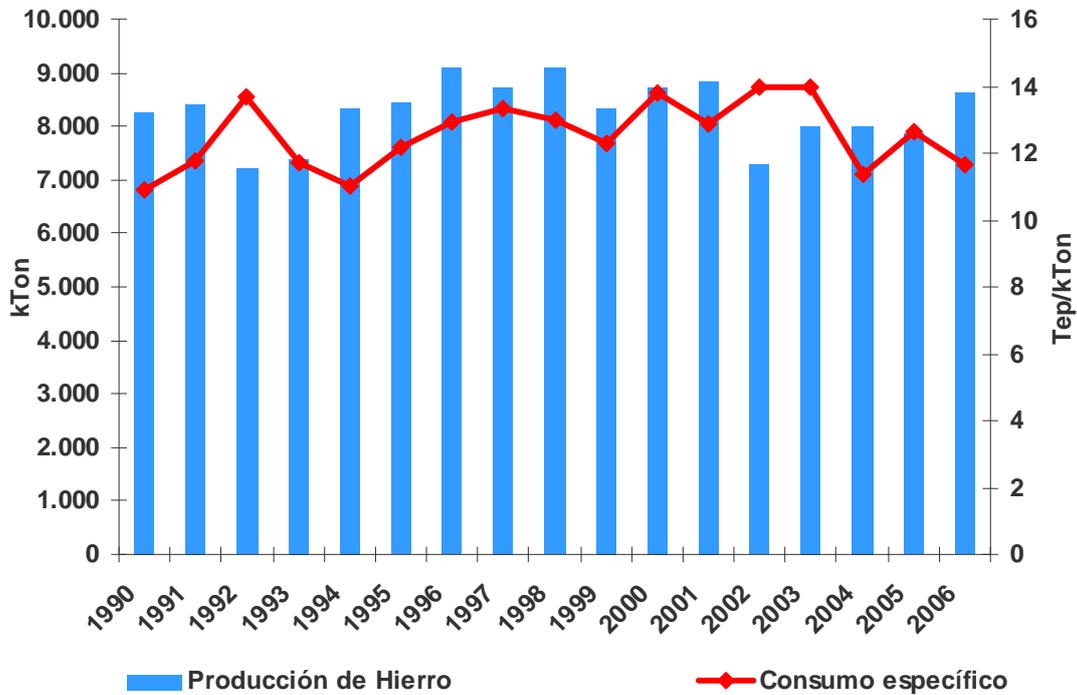
Años	Derivados		Electricidad		Carbón		Gas Natural		Total
	TCal	%	TCal	%	TCal	%	TCal	%	
1991	672	77%	168	19%	30	3%	0	0%	870
1992	681	78%	180	21%	12	1%	0	0%	873
1993	718	80%	179	20%	3	0%	0	0%	900
1994	683	79%	179	21%	3	0%	0	0%	865
1995	683	80%	174	20%	0	0%	0	0%	857
1996	819	82%	182	18%	0	0%	0	0%	1.001
1997	841	81%	203	19%	0	0%	0	0%	1.044
1998	981	81%	233	19%	0	0%	0	0%	1.214
1999	1.032	79%	268	21%	0	0%	0	0%	1.300
2000	996	84%	192	16%	0	0%	0	0%	1.188
2001	831	64%	284	22%	0	0%	174	13%	1.289
2002	418	29%	281	20%	0	0%	725	51%	1.424
2003	298	20%	310	21%	0	0%	853	59%	1.461
2004	461	29%	268	17%	0	0%	820	54%	1.549
2005	415	26%	356	22%	0	0%	829	52%	1.600
2006	415	30%	359	26%	0	0%	596	44%	1.371

Fuente: Balance Nacional de Energía, CNE

### 8.2.2.3 Subsector Hierro

Del mismo modo que en el subsector Salitre, en este subsector no se observan grandes variaciones en el consumo específico de energía.

Figura 35: Producción y consumo específico en el subsector Hierro



Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que el indicador consumo específico fue construido en base a las estadísticas de producción de "ore<sup>32</sup>" y no de pellets (cuya información sólo está disponible hasta el año 2002). Se considera que el proceso de producción de pellets presenta mayores potencialidades de mejoramiento de la eficiencia energética mediante buenas prácticas y cambios más convencionales de los sistemas de uso de la energía, pero que por falta de información no es posible verificar si dichos potenciales se han materializado o no.

<sup>32</sup> Mineral

### 8.2.3 Sector servicios<sup>33</sup>

El consumo de energía del sector servicios ha aumentado alrededor del 145% en el periodo 1990-2006, lo que supone un crecimiento promedio de 5,8% anual. En el año 2006 el consumo según energéticos para este sector se distribuyó según se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro 23: Energéticos utilizados por el sector servicios, año 2000 y 2006

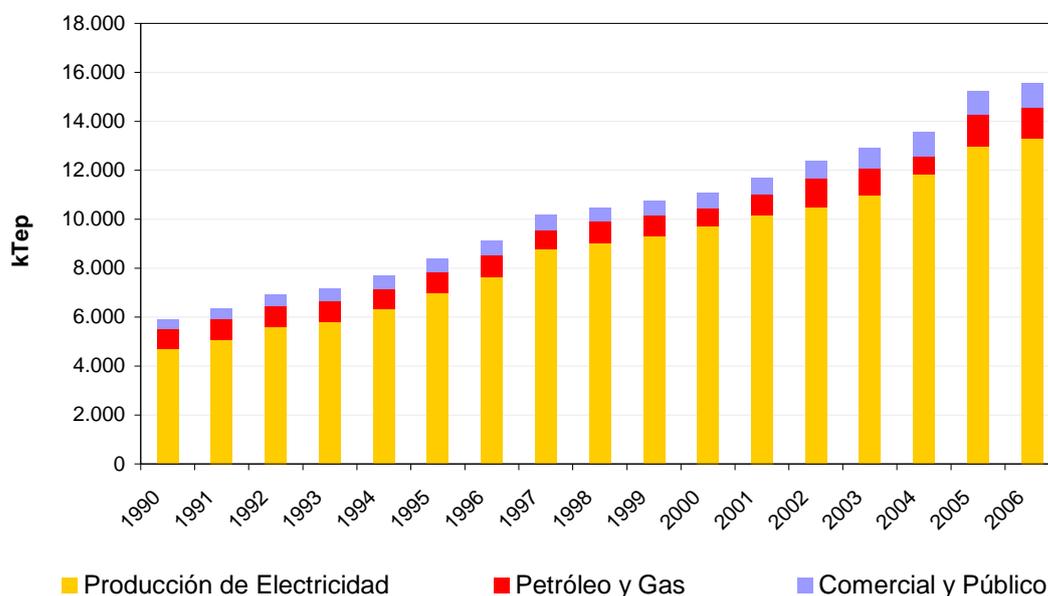
Energético	2000		2006	
	Tcal	%	Tcal	%
Derivados del petróleo	7.492	12%	10.004	12%
Electricidad	5.238	8%	8.036	10%
Gas Natural	23.123	37%	24.951	31%
Gas corriente	158	0%	138	0%
Carbón	21.958	35%	28.502	35%
Coke y alquitrán	1.443	2%	4.657	6%
Leña y otros	3.317	5%	5.040	6%
<b>Total</b>	<b>62.729</b>	<b>100%</b>	<b>81.328</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia en base al Balance Nacional de Energía de la CNE

<sup>33</sup> Para el análisis energético – económico se consideraron datos del Banco Central y de la Comisión Nacional de Energía. Aunque los datos se presentan con un mayor nivel de desagregación en las Cuentas Nacionales del Banco Central, básicamente se abarca los mismos sectores que en el Balance Nacional de Energía. En el cuadro siguiente se muestran los sectores considerados según la fuente.

Banco Central	Comisión Nacional de Energía
<b>Electricidad</b>	
Electricidad	Autoproductores
	Servicio Público
<b>Petróleo y gas</b>	
Gas	Petróleo y Gas
Refinería de Petróleo	
<b>Comercial y Público</b>	
Agua	Comercial y Público
Construcción	
Comercio, Restaurantes y Hoteles	
Comunicaciones	
Servicios Financieros y Empresariales	
Propiedad de vivienda	
Servicios Personales	
Administración Pública	
Imputaciones Bancarias	

Figura 36: Evolución del consumo de energía en el sector servicios, según subsectores

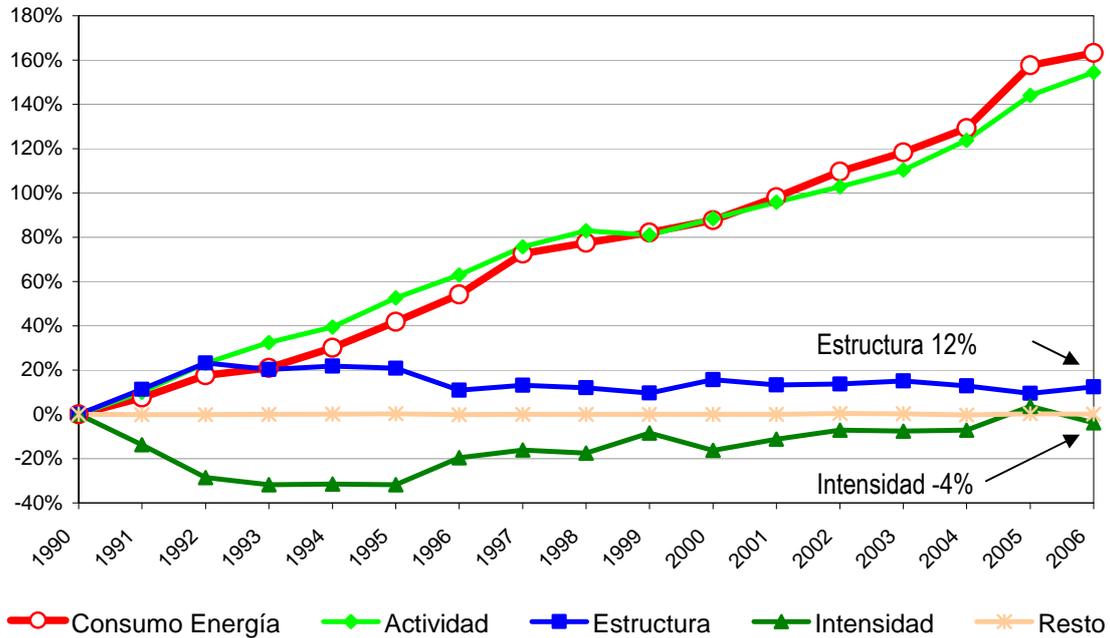


Fuente: Elaboración propia en base a datos del Balance Nacional de Energía

En base a las estimaciones realizadas se llevó a cabo una descomposición de los consumos de energía que se muestran en la Figura 37. En primer lugar, se puede afirmar que el aumento en el consumo de energía se explica por el crecimiento en los niveles de actividad. Por otra parte, la evolución del consumo está condicionada por cambios estructurales, en algunos casos contrapuestos, asociadas a la significativa introducción del gas natural en la matriz energética chilena, lo que implica una reducción de la importancia de la hidroelectricidad, un aumento de los rendimientos en el caso de la generación térmica y de un desarrollo de la distribución del gas natural para los sectores residencial y comercial. Sin embargo, esta situación cambia en los últimos años del periodo, por una “disminución” en la eficiencia debido a las restricciones de gas natural desde Argentina, lo que provocó un aumento en el consumo de otros energéticos menos eficientes influyendo negativamente en la eficiencia del sector en general.

En resumen, puede señalarse que mientras la intensidad total se mantiene constante en el período de análisis, la intensidad neta fluctúa en función de los cambios estructurales.

Figura 37: Descomposición de los consumos de energía en el sector servicios

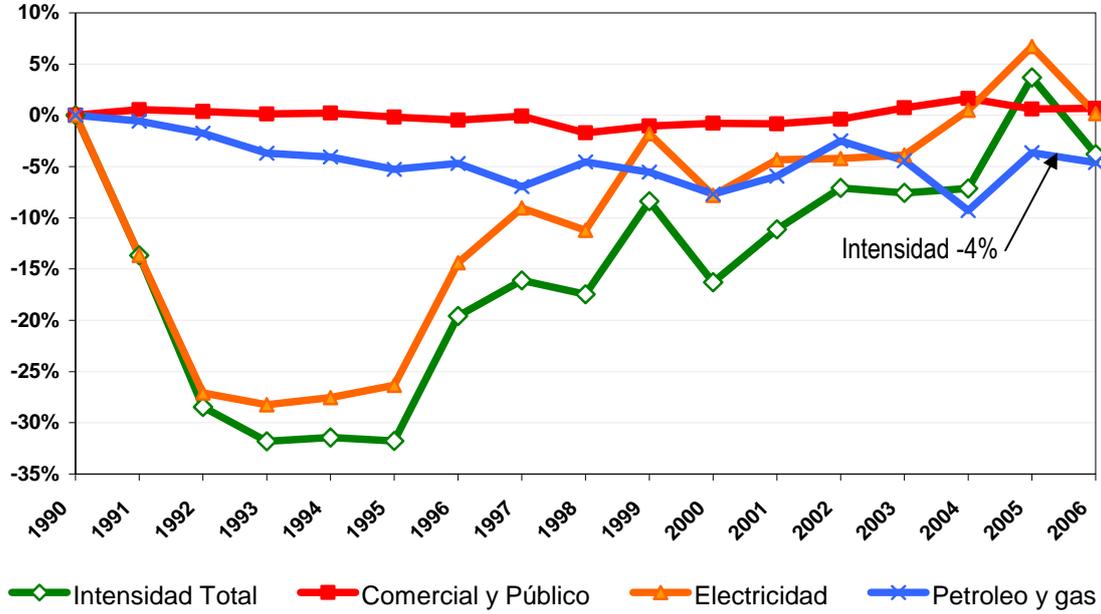


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 38 se refleja lo que fuera planteado más arriba, las fluctuaciones de la intensidad energética para el conjunto de los sectores se encuentra fuertemente influenciada por las variaciones de la intensidad del subsector eléctrico, que es además el más energo-intensivo. A comienzos del período fue puesta en marcha una central térmica (Unidad 15, de la Central Térmica Tocopilla) que introdujo mayor eficiencia a la generación térmica en el SING. A partir de 1995 la generación se vuelve cada vez más térmica lo que hace al parque del SIC, en general, menos eficiente, debido a la disminución de la importancia relativa de la generación hidroeléctrica, mientras que se produce un fenómeno inverso en el SING, que no alcanza a balancear el efecto anterior debido a que este último sistema es más pequeño que el primero. Por último, a partir del año 2004, los problemas de abastecimiento del Gas Natural se traducen en una generación térmica más ineficiente, lo que obligó a operar las centrales en ciclo abierto y/o utilizar centrales cuya ineficiencia las había retirado del servicio.

Por su parte la tendencia presentada por las refinерías de petróleo Figura 38 puede estar asociada a la introducción de algunas mejoras de proceso, sin embargo, pueden también asociarse a las variaciones del valor agregado (resultantes de las fluctuaciones de los precios del petróleo, por lo que es difícil llegar a una explicación ser concluyente en este caso.

Figura 38: Variación porcentual de la componente de Intensidad Energética del índice de consumo energético del sector servicios

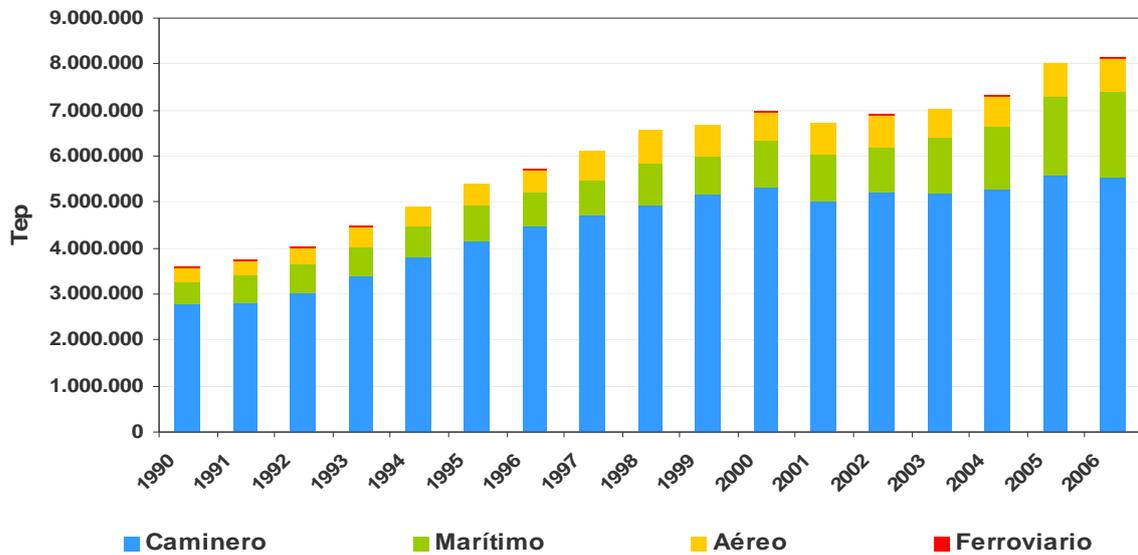


Fuente: Elaboración propia

#### 8.2.4 Sector transporte

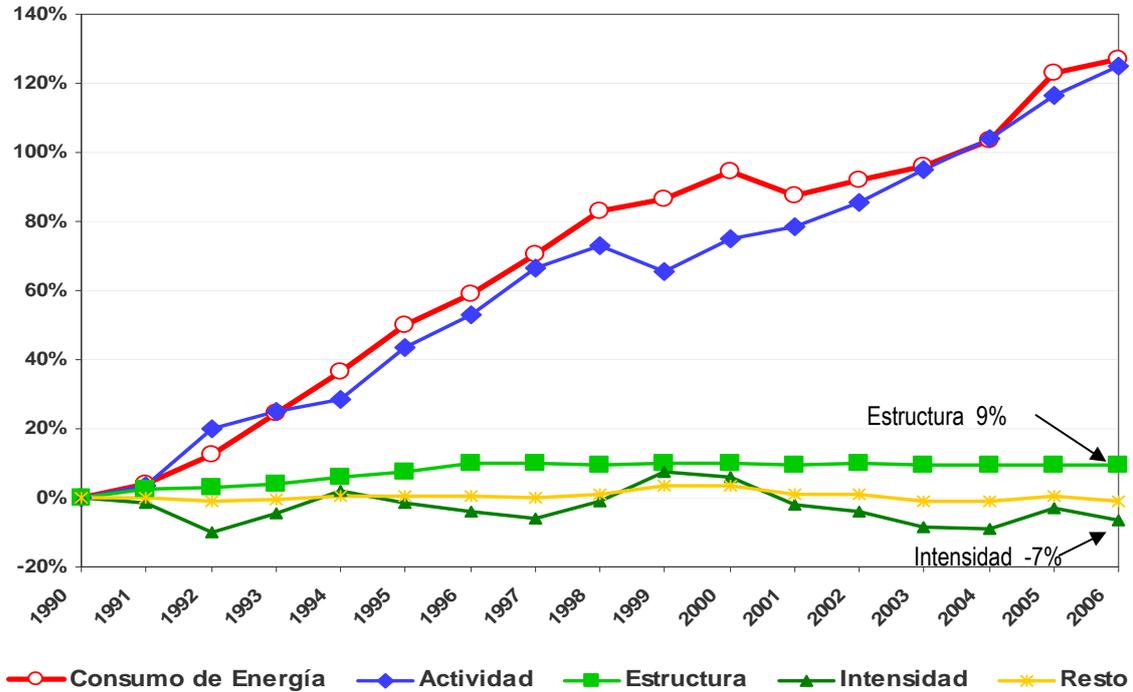
La Figura 39 muestra la evolución del consumo de energía en el sector transporte. Por otro lado, de la Figura 40 se puede desprender que la evolución del consumo de energía del sector sería explicado principalmente por las variaciones en el nivel de la actividad y la variación de la intensidad.

Figura 39: Evolución del consumo de energía en el transporte, según subsectores



Fuente: Elaboración propia

Figura 40: Descomposición de los consumos de energía en el sector transporte



Fuente: Elaboración propia

## 8.2.5 Sector Residencial

En el periodo 1990 – 2006, el consumo de energía del sector creció un 49%, con un incremento promedio del 3% anual. Sin embargo, como es posible apreciar en la Figura 41, no todo el periodo fue de crecimiento en el consumo, dado que, entre los años 2001 y 2004 cayó casi un 5%. Esto puede ser explicado por la incorporación del gas natural a la canasta de energéticos disponibles a nivel domiciliario, la disminución del uso de derivados del petróleo y la desaceleración en el crecimiento del consumo de leña<sup>34</sup>.

A pesar de que el crecimiento en el consumo de leña se ha visto frenado desde que el consumo de gas natural cobró mayor importancia, sigue siendo el principal energético utilizado como es posible apreciar en el Cuadro 24, donde es fácil apreciar la caída en la importancia relativa de los derivados del petróleo y la leña para dar paso a un aumento de casi un 100% en el consumo de electricidad y gas natural.

Cuadro 24: Distribución de los energéticos consumidos por el sector residencial<sup>35</sup>

	1997		2006	
	Tcal	%	Tcal	%
Derivados de Petróleo	11.303	24,99%	9.497	18,97%
Gas Natural	1.773	3,92%	3.865	7,72%
Electricidad	4.522	10%	7.349	14,68%
Gas corriente	514	1,14%	137	0,27%
Leña	27.117	59,95%	29.212	58,35%
<b>Total</b>	<b>45.229</b>	<b>100%</b>	<b>50.060</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia en base al BNE de la CNE

Si se asume que el consumo de energía en el sector residencial está influenciado, en parte importante, por el consumo de cada uno de los hogares, se tiene que su incremento global está ligado al aumento del número de hogares en el país, de alrededor de un 38%<sup>36</sup> y al incremento del gasto de las personas<sup>37</sup>.

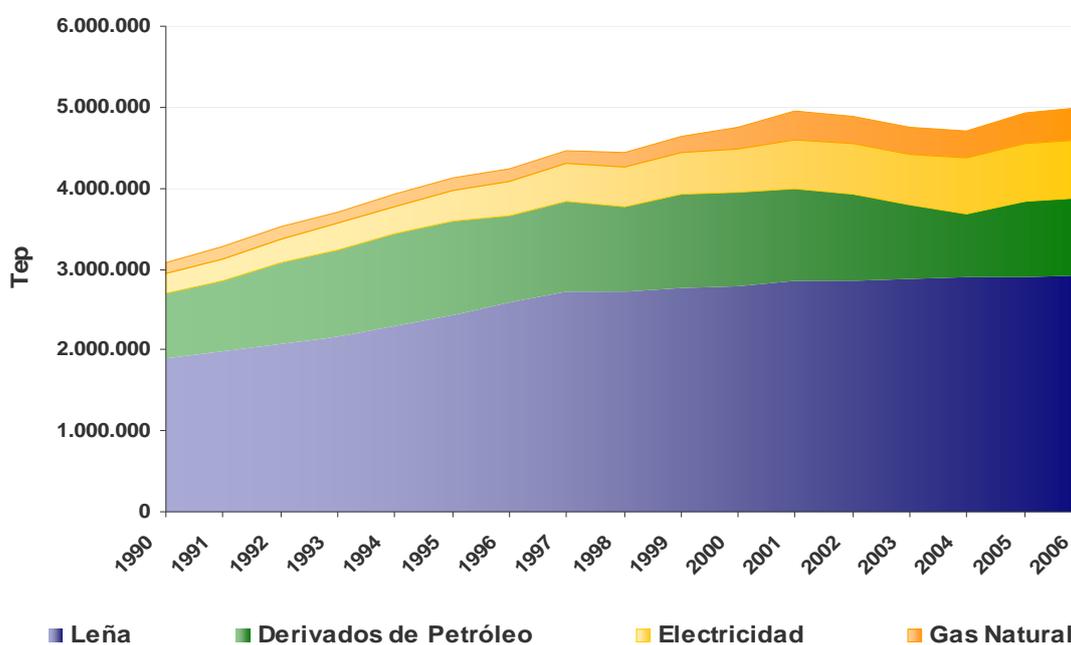
<sup>34</sup> En este sector es donde más afecta el método de estimación del consumo de leña del BNE.

<sup>35</sup> No existen datos desagregados de consumo para el sector residencial anteriores al año 1997.

<sup>36</sup> El Instituto Nacional de Estadísticas INE, se registró un aumento de un 25,7% en la cantidad de hogares entre los Censos de 1992 y de 2002. Se supone que este aumento se produjo de manera lineal y se extiende para los años antes y después de estos Censos (es decir, para 1990, 1991 y para el periodo 2003 – 2006).

<sup>37</sup> En este caso conviene reiterar que el consumo de leña puede estar subestimado y que el incremento del consumo de energía puede ser mayor que el señalado al comienzo de este punto.

Figura 41: Evolución del consumo de energía a nivel residencial

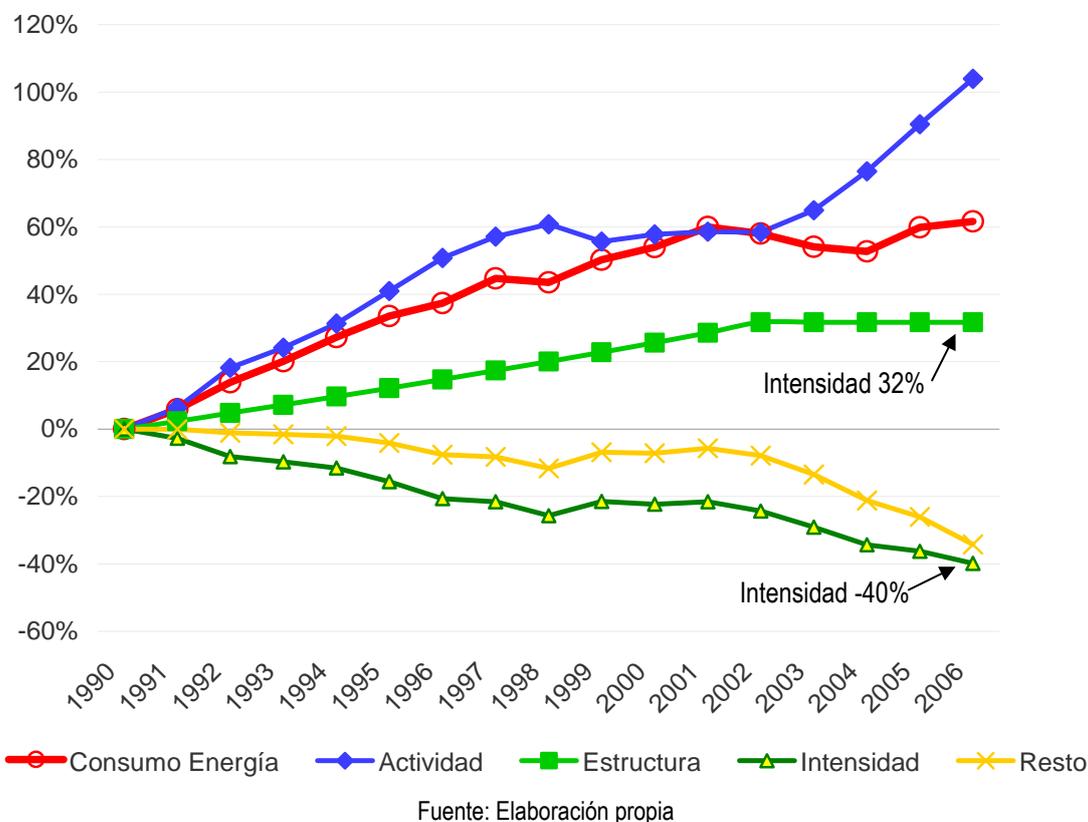


Fuente: Elaboración propia

En la actualidad, cada hogar consume un 11,5% más de energía que al inicio del periodo, lo cual es explicado por un aumento en el presupuesto familiar de un 85,4%<sup>38</sup>. Conviene señalar que la demanda por energía no crece al mismo ritmo que el ingreso de las familias, ya que el consumo de la energía tiende a una saturación relativa frente a las nuevas necesidades o bienes que las familias incorporan a su presupuesto. Lo anterior se traduce en una reducción de la intensidad energética, graficada en la Figura 42.

<sup>38</sup> Ver comentario nota anterior

Figura 42: Descomposición del consumo de energía en el sector residencial

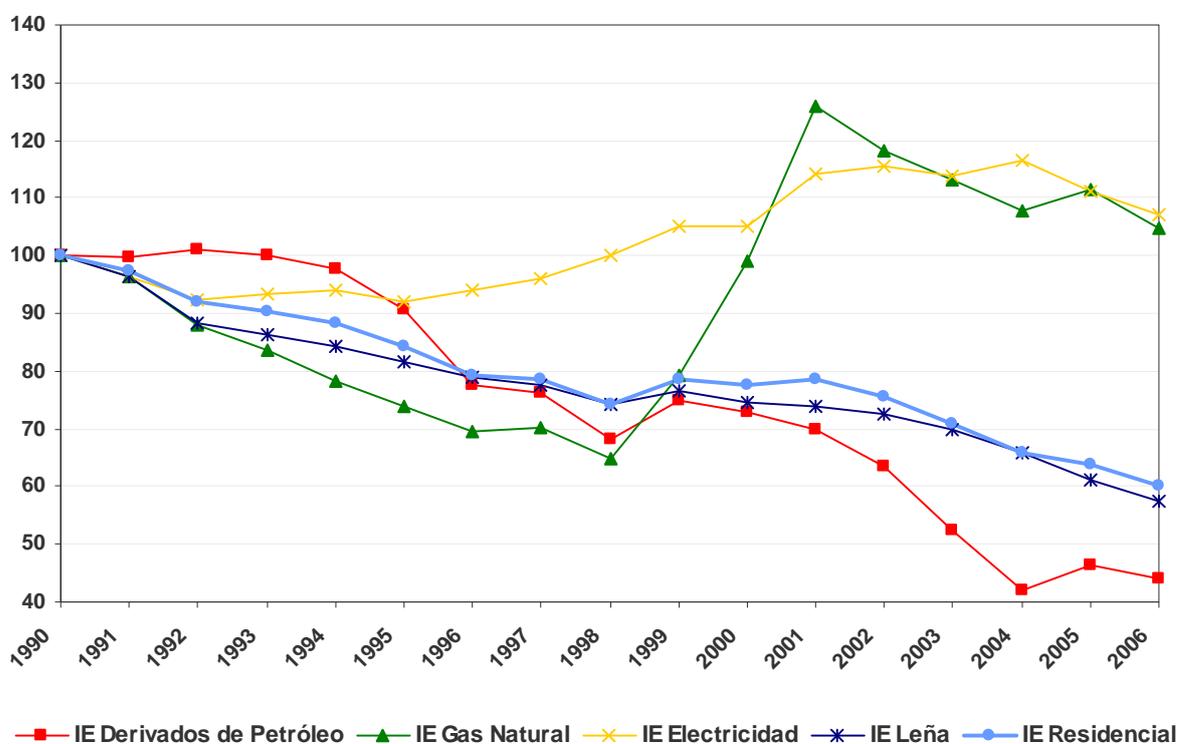


En la Figura 43 se grafica la variación de la intensidad energética desagregada por tipo de energético, con relación al ingreso disponible por los hogares chilenos. De ella se desprende el rápido crecimiento de la intensidad del gas natural entre los años 1998 y 2001 (período de su introducción masiva en los hogares chilenos), seguido por un período de saturación relativa del consumo<sup>39</sup>, el que se refleja en una caída de la intensidad, reforzada por el comienzo de las dificultades de abastecimiento de este combustible. Por otro lado, salvo la electricidad que ha mostrado una tendencia a mantenerse constante, todos los demás energéticos muestran una marcada tendencia a la baja.

La situación anteriormente descrita encuentra además su explicación en el aumento de los ingresos familiares, lo que se traduce en un mayor consumo de energéticos más limpios, cómodos y que demandan equipos usuarios más sofisticados, los que en muchos casos son más eficientes, como por ejemplo el gas natural y la electricidad.

<sup>39</sup> Luego de la extensión de las redes de distribución hacia los sectores que podían concentrar el consumo de GN, la distribución de GN entra en un proceso de saturación relativa o de crecimiento lento.

Figura 43: Intensidad Energética Residencial en relación al ingreso disponible (1990 índice 100)



Fuente: Elaboración propia

## 9 Estimación del potencial de mejoramiento de la eficiencia energética

Como ha sido establecido en el presente trabajo, la eficiencia energética no es sólo un desafío técnico. En muchos casos, sólo la introducción de una correcta gestión de los sistemas energéticos resulta en importantes ahorros de energía. Por esta razón, la eficiencia energética, tal como es entendida en este documento, implica cualquier medida que permita reducir la cantidad de energía utilizada para producir una unidad de bien o servicio.

El potencial teórico o económico de mejoramiento de la eficiencia energética, se alcanzará entonces, en la medida que se introduzcan las mejores tecnologías disponibles y el conocimiento técnico y de gestión para la correcta utilización de los sistemas energéticos. De esta manera, el potencial teórico será alcanzable en la medida que se realicen las acciones necesarias para la promoción de dichas tecnologías eficientes y de la gestión eficaz de ellas.

Cabe hacer notar que a pesar de que los cambios en las estructuras económicas hacia sectores menos intensivos en energía pueden considerarse como eficiencia energética, no corresponde considerarlos en el cálculo del potencial.

### 9.1 Metodología adoptada

A la hora de realizar los cálculos y analizar los resultados es necesario tomar en cuenta que el potencial teórico es un indicador cuestionable en su aplicabilidad, debido a que no permite establecer metas reales para programas y medidas de eficiencia energética. Por esta razón se ha optado por un método de estimación del potencial alcanzable, el que consiste en observar la evolución de la eficiencia energética en países en los que se han establecido agresivos programas de eficiencia energética y evaluar sus logros.

En efecto, la adopción de la EE ha sido un elemento central de las políticas energéticas y ambientales de los países desarrollados desde hace más de tres décadas. La información entregada a continuación da cuenta de manera sucinta de la estrecha relación entre las políticas de uso eficiente de la energía y los resultados derivados de la adopción de medidas regulatorias, de mercado y programas implantados en algunos países<sup>40</sup>:

### 9.2 Análisis de la situación internacional

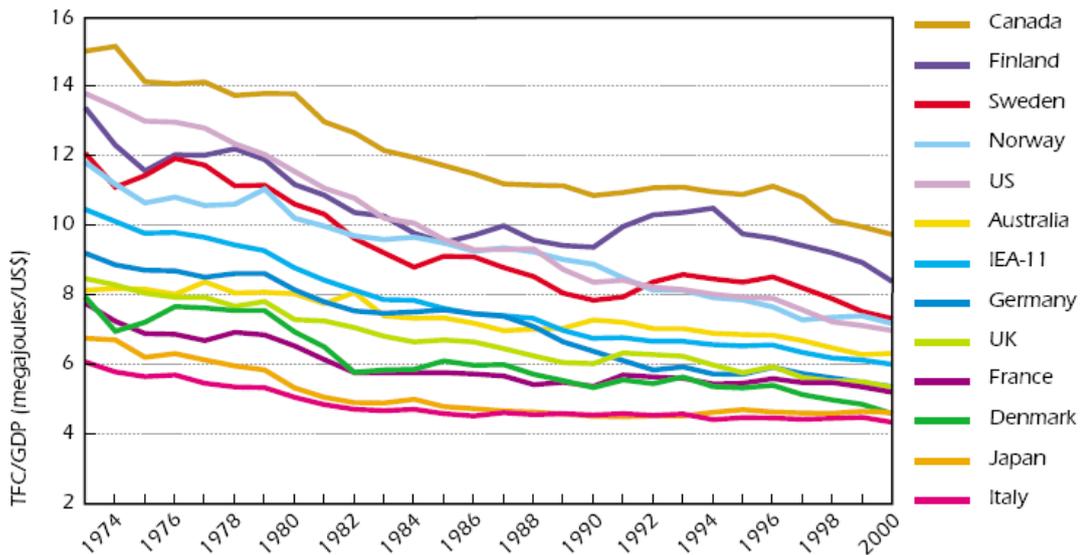
La tendencia mostrada por los países industrializados es de reducir los consumos de energía aumentando la intensidad energética. En la Figura 44 es posible observar el comportamiento de la intensidad energética en una serie de economías importantes a nivel mundial. Por otro lado, para los países de IEA-11 es posible apreciar en la Figura 45 la contribución de cada sector de la economía

---

<sup>40</sup> Políticas colectivas de eficiencia se pueden encontrar en "Understanding Energy Initiatives in the Apec Region", publicado por APERC, 2007

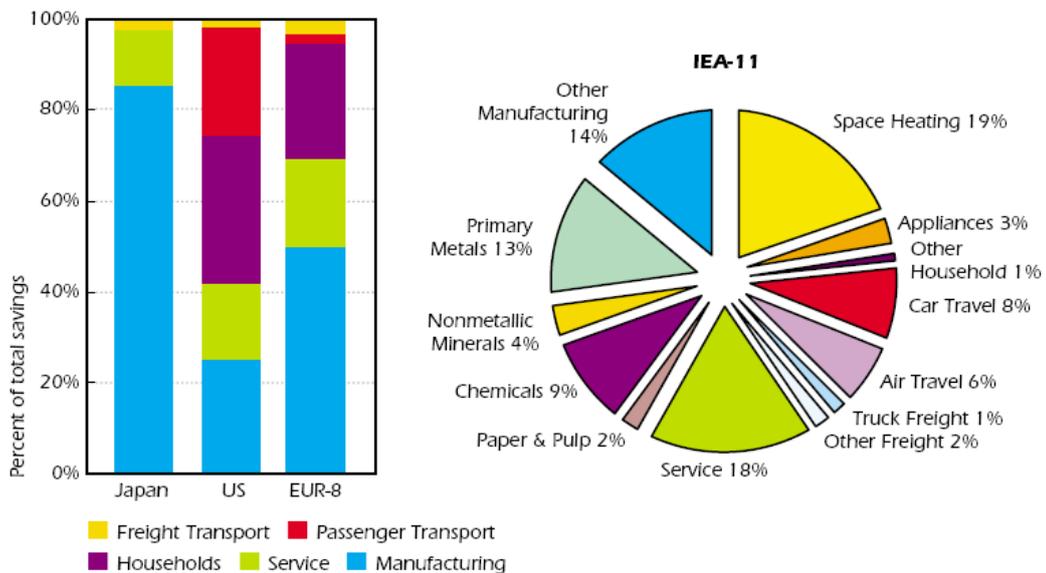
al ahorro total logrado. En ella se puede notar que a nivel sectorial, la industria manufacturera es la que presenta logros de reducción más estables entre los países.

Figura 44: Evolución de la intensidad energética en algunas economías importantes (TFC: Total final consumption)



Fuente: IEA, OECD, 2004

Figura 45: Contribución sectorial al ahorro de energía para países IEA-11 entre 1973 y 1998

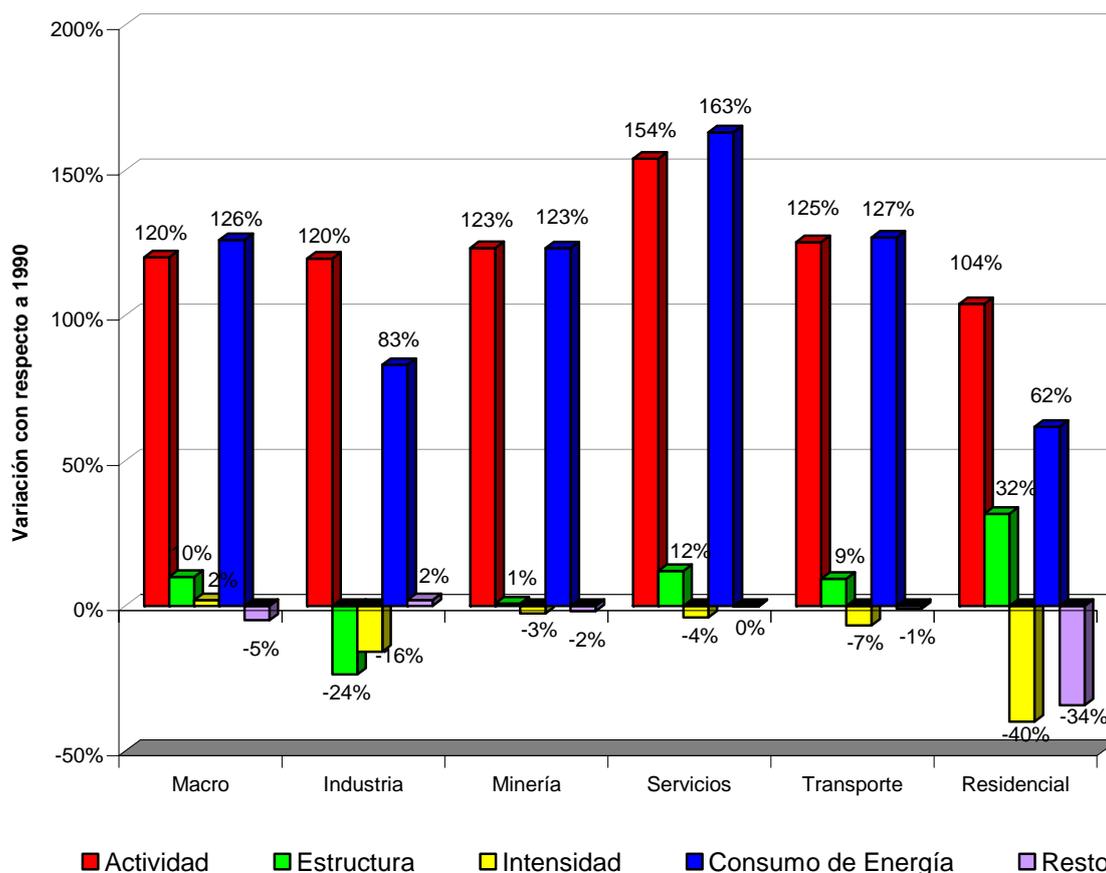


Fuente: IEA, OECD, 2004

Por otro lado, en Chile la situación entre los años 1990 y 2006 ha variado según se muestra en la Figura 46 la que, al ser contrastada con los casos antes mostrados, deja entrever que en Chile aun

existe un enorme potencial de ahorro producto de un aumento en la intensidad en el uso de la energía<sup>41</sup>. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos datos no son directamente comparables dado que tienen años de base distintos y los valores agregados sectoriales están expresados en distintas unidades monetarias. No obstante esto, lo importante es atender la tendencia internacional.

Figura 46: Descomposición del indicador Consumo Energético par Chile entre los años 1990 y 2006



Fuente: Elaboración propia

En efecto se observa que la industria manufacturera, en un período de 25 años logró reducir sus consumos de manera importante (25% en USA, un 50% en EUR – 8 y cerca del 85% en Japón). Por otro lado, se aprecia que existe un potencial importante en el sector servicios y en el sector residencial.

<sup>41</sup> Conviene reiterar lo ya señalado respecto de la estimación del consumo de leña tanto en el sector residencial como industrial. Datos más precisos de dicho consumo podrían reducir significativamente las mejoras mostradas por el sector residencial e industrial

Para entender el porque de la baja en la energía utilizada para producir cada unidad de PGB, a continuación se detallan las principales medidas implementadas en algunos países para lograr la reducción del consumo por medio de un aumento en la eficiencia en el uso de la energía.

### 9.2.1 Estados Unidos

En APERC, 2007 se señala que en el año 2005, el Congreso de los EE.UU. aprobó la "Energy Policy Act of 2005" (EPAAct) con el objetivo de aumentar la producción energética doméstica, mejorar la eficiencia, y en última instancia, reducir la dependencia de las importaciones energéticas durante un período de diez años. Para lograr alcanzar los objetivos propuesto es que se estableció la entrega de una serie de incentivos para la producción de energía y su uso eficiente en hogares y empresas, siendo algunos los siguientes:

- Eliminación de impuestos para la producción de petróleo y gas en alta mar y aguas profundas
- Garantía de préstamos para la Investigación y Desarrollo de tecnologías innovadoras (reactores nucleares avanzados, tecnología de carbón limpio y fuentes de energía renovables)
- Entrega de subsidios para los agricultores que destinen sus cosechas a la producción de etanol
- Créditos fiscales para los dueños de vehículos híbridos y a los propietarios con instalaciones de energía eficientes en sus hogares.

Con el objetivo de mejorar la eficiencia energética, algunas de las medidas implementadas por la EPAAct son las siguientes:

- *Mejorar la eficiencia energética en productos de consumo:* Se estableció estándares de consumo para ciertos equipos. Durante 2006 se presentó un informe al congreso estadounidense en el cual se detallan la incorporación de nuevos equipos a este listado, y se actualizan los estándares originales (de 2005).
- *Promover el uso de tecnologías y conductas eficientes en instituciones públicas:* Con el objetivo de "predicar con el ejemplo", se permite a contratistas privados cooperar directamente en las mejoras de eficiencia en agencias federales a través del "Energy Savings Performance Contract".
- *Reducir el Consumo Energético Industrial:* En 2005, se anunció una campaña de ahorro energético para las industrias energointensivas, la cual establece un sistema de cuotas voluntarias de ahorro de energía. En julio de 2006, 124 de estas cuotas estaban en aplicación.

## 9.2.2 Japón<sup>42</sup>

Con el fin de reducir la dependencia de las importaciones de petróleo, la “Nueva Estrategia Nacional de Energía” (publicada en 2006), fijó como meta reducir a menos del 40% la dependencia del petróleo para el 2030 en comparación con el 50% del año 2006. Para lograr este objetivo, se plantean las siguientes estrategias:

- **Fomento de la innovación tecnológica:** Establecimiento de un ciclo positivo de innovación tecnológica y desarrollo de un sistema social que impulse y adopte medidas que permitan el UEE a futuro; desarrollo de estándares tipo “Top Runner”<sup>43</sup> que permitan identificar buenas tecnologías de conservación energética; programa de asistencia para los “Top Runners”; generación de investigación a mediano y largo plazo enfocada al UEE en los sistemas sociales.
- **Reducción de la dependencia energética:** Reducción de un 80% de la dependencia del petróleo en el sistema de transportes para el año 2030. Para generar esta reducción, es necesario incrementar la eficiencia en el consumo de los vehículos, promocionar la utilización de nuevos combustibles como aquellos derivados de biomasa y GTL (petróleo sintético) y promocionar la utilización de vehículos eléctricos.
- **Plan de Innovación Energética:** Reducir al 2030 los costos asociados a la generación de energía solar hasta el punto que sean equivalentes a los costos de generación utilizando plantas térmicas. Para cumplir con este objetivo, se fomentará la construcción de parques generadores de nueva generación que permitan fomentar la comprensión de dichas tecnologías de generación; presentación de medidas de respaldo para mejorar las capacidades técnicas y para asegurar la independencia energética de nuevas industrias, promocionar el desarrollo de tecnologías innovadoras tales como celdas secundarias de próxima generación<sup>44</sup>.
- **Plan de Energía Nuclear:** Mantener o aumentar la participación de Energía Nuclear a un 30% – 40% (o más) para el 2030.

Entre los años 1973 y 2002, Japón ha logrado reducir su intensidad energética en un 37%, pasando desde 1.566 Tep/Mil Millones de Yen a 982 Tep/Mil Millones de Yen.

Con las medidas antes mencionadas, Japón, para el año 2010, espera reducir su consumo desde 420 a 410 miles de toneladas equivalentes de petróleo crudo, equivalente a un 2,38% de su consumo de energía secundaria, siendo 420 el consumo proyectado en un caso base, el cual no incluye las medidas presentadas en 2006. Para lograr reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de las fuentes

---

42 New National Energy Strategy (2006); Energy in Japan 2006: Status & Policies (2006)

43 Los programas de tipo Top Runner establecen que el elemento más eficiente, energéticamente hablando, de una categoría determinada, fija los estándares futuros de eficiencia para todo tipo de equipo y/o maquinaria similar durante el próximo período. Esto, en conjunto con una llamativa campaña comunicacional, genera un gran interés de parte de las empresas para cumplir con estos estándares

44 Las Celdas Secundarias hacen referencia a todo tipo de baterías que puedan ser recargables, siendo las más conocidas o utilizadas actualmente las de Lithium-ion y las de nickel-metal hydride. Por otro lado, las Celdas Primarias, tienen la ventaja de presentar una extremadamente alta densidad energética (alta capacidad por unidad de masa), pero sólo pueden ser usadas una única vez.

energéticas al nivel de 1990, sería necesario tomar medidas adicionales<sup>45</sup>. Se estima que con estas medidas adicionales la disminución del consumo podría traducirse en 399 miles de toneladas equivalentes de petróleo crudo, lo que significaría una disminución adicional de 2,62% en comparación con el caso base (ANRE, 2006)<sup>46</sup>.

### 9.2.3 China<sup>47</sup>

Según la Comisión de Desarrollo y Reformas del Gobierno Chino (NDRC, según su sigla en inglés), en su informe de Diciembre de 2007, la intensidad energética entre los años 1980 y 2006 ha variado entre 3,39 y 1,21 toneladas equivalentes de carbón por cada 10.000 Yuan de PIB respectivamente, lo que indica una mejora equivalente a 3,9% por año durante el período en cuestión.

De Acuerdo con el "11<sup>th</sup> Five-Year Plan", actualmente en ejecución (2006-2010), para el 2010, China tiene como objetivo reducir en un 20% la intensidad energética de acuerdo a los niveles del 2005. Con este plan, se espera que la producción energética nacional logre cubrir la demanda de la economía y del desarrollo social. Junto con esto, se esperan grandes mejoras con respecto a la eficiencia energética, formas alternativas al carbón (fuente principal de energía en China) para generación de energía e invirtiendo en investigación y desarrollo de tecnologías que permitan mejorar la eficiencia energética de los centros de transformación, etc.

Otro de los programas presentados bajo este Plan en el año 2006, es el Programa de Conservación Top-1000 para Empresas, en el cual participan las 1.008 empresas más energointensivas del mercado chino. Mediante estudios realizados (incluyendo auditorías energéticas y planes de conservación energéticos), se han identificado los requerimientos necesarios para que cada empresa logre mejorar su eficiencia energética. De acuerdo con este plan, se espera disminuir el consumo energético en 100 millones de toneladas equivalentes de carbón para el año 2010.

### 9.2.4 Alemania<sup>48</sup>

Entre 1990 y 2005 hubo pequeñas disminuciones tanto en consumos de energía primaria como secundaria (4% y 1% respectivamente). Sin embargo se mantuvo una disminución constante en las intensidades energéticas de 1,5% anual para ambos casos. Se estima que los cambios estructurales en la economía aportaron a dicha reducción alrededor de 0,2% por año.

---

<sup>45</sup> Estas medidas adicionales, si bien no están individualizadas, se asume que estarían principalmente enfocadas a la calefacción.

<sup>46</sup> ANRE: Agencia de Recursos Naturales y Energía Japonesa según su sigla en inglés (Agency for Natural Resources and Energy), dependiente del Ministerio de Economía, Negocios e Industria Japonés (METI)

<sup>47</sup> Aperc Energy Overview 2006 (2007); China's Energy Conditions & Policies (2007)

<sup>48</sup> Energy Efficiency Policies and Measures in Germany 2006 (2006);

Página de DENA (<http://www.dena.de/>);

Información EnergieEffizienz (<http://www.initiative-energieeffizienz.de/>)

La Agencia Energética Alemana DENA, en el año 2002, comenzó una campaña Nacional de Eficiencia Energética (Energie Effizienz), en un principio enfocada sólo al sector residencial, la que tiene como objetivo entregar información enfocada al consumidor, con medidas concretas para su beneficio, tales como el uso eficiente de la energía eléctrica en iluminación, sistemas de comunicación (computadores, faxes, módems, teléfonos celulares, teléfonos inalámbricos, etc.), entretenimiento (televisores, equipos dvd, sintonizadores de televisión, sistemas Home-Theather, etc.) y en electrodomésticos (refrigeradores, lavadoras, microondas, lavavajillas, etc.), campañas de información en los medios de comunicación y al momento de la compra de nuevos productos.

Esta campaña fue actualizada el año 2005 con el objetivo de incluir al sector Servicios e Industria. Esta vez, los instructivos incluyen información acerca de los equipos y maquinaria más eficiente del mercado y metodologías para desarrollar conductas eficientes, además de informar los ahorros potenciales relacionados con dichas conductas. Se estima que sólo el sector industrial, cuyo consumo asciende a unos 220 millones de MWh (según lo publicado por DENA en Agosto de 2006) podría disminuir su consumo en un 15% a 20% si se adoptan las medidas propuestas, sin afectar la producción. Se ha puesto especial énfasis en los sistemas de aire y ventilación, el cual presenta ahorros con cambios económicamente viables en los sistemas existentes, lo cual podría disminuir adicionalmente en un 10% el consumo para toda la industria, totalizando así un 30% de ahorro esperado. En Febrero de 2006, se actualizaron las condiciones para los programas de "Modernización de Hogares", "Construcción Ecológica" y el programa de rehabilitación de Edificios, con el objetivo de que las construcciones nuevas y las ya existentes sean más eficientes energéticamente.

En el sector Transportes, a pesar del aumento en un 8% de su consumo en el período 1991-2005 (de 58 a 62,7 Mtep), se puede observar una disminución en la intensidad de un 11% entre los años 1990-2005, equivalentes a una mejora de aproximadamente 0,7% anual. Algunas de las medidas implementadas en este sector incluyen el etiquetado de los vehículos nuevos (desde 2004), donde se debe entregar el consumo promedio y cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, en 2005, se generó una campaña comunicacional que entrega consejos relacionados con la conducción eficiente y sus beneficios.

#### 9.2.5 Canadá

La oficina de Recursos Naturales de Canadá, ha implementado el programa ecoACTION<sup>49</sup>, el cual busca reducir los consumos de energía al introducir buenas prácticas tanto a nivel residencial como a nivel industrial. A pesar de un aumento importante en el consumo de energía de un 22,9% entre 1990 y 2004, la eficiencia energética ha mejorado en un 13%<sup>50</sup> en el mismo periodo, lo que se traduce en un ahorro de \$14,5 mil millones de dólares canadienses sólo en 2004.

El Programa ecoACTION presenta distintos nombres dependiendo de a qué o quien esté enfocado. A continuación se explican brevemente los principales programas:

---

<sup>49</sup> Página Oficial del Programa ecoACTION (<http://ecoaction.gc.ca/index-eng.cfm>)

<sup>50</sup> Esta medición es realizada utilizando un indicador llamado "Eficiencia Energética" (OEE Energy Efficiency Index), el cual considera además cambios climáticos y cambios en la economía (entre otros), creado por la OEE (Oficina de Eficiencia Energética Canadiense).

- *Turning the Corner, Programa de reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI):* Impone metas específicas de reducción de GEI para la industria, buscando reducir las emisiones el año 2015 en un 50% y llegando a 150 Mega toneladas para el año 2020. Además regula la eficiencia en el consumo de combustibles para autos y camiones livianos y aumenta los estándares de eficiencia ya existentes para productos consumidores de energía.
- *ecoAGRICULTURE: Programa de Desarrollo Agrícola:* Desde el momento en que asumió el mando, el actual gobierno canadiense anunció la entrega de \$500 millones de dólares canadienses para ayudar a los agricultores y comunidades agrícolas a buscar nuevas oportunidades en el mercado de los bio-productos (biocombustibles, productos orgánicos, etc) y para renovación tecnológica.
- *ecoENERGY:* Entrega subvenciones y compensaciones económicas a particulares e instituciones públicas y privadas que participen y cumplan las medidas de los programas de Biocombustibles, Casas y Edificios, Industria, Calefacción Renovable, Flotas de transportes, Energía Renovable, Pequeñas y Medianas Organizaciones y/o Iniciativa Tecnológica.
- *ecoTRANSPORT: Programa Vehicular:* Entrega subvenciones para las personas o empresas que adquieran vehículos eficientes, busca mejorar el sistema de transporte público para disminuir el consumo energético a nivel general, implementar mejoras de eficiencia en el parque automotriz ya existente mediante la introducción y generación de nuevas tecnologías, entrega información acerca de conductas que permitan a los conductores mejorar la eficiencia de su vehículo, ya sea a través de mantención, limpieza y recambio de piezas.
- *ecoTRUST: Fondo Fiduciario:* Creación de un fondo federal que permita la inversión de instituciones gubernamentales en planes que permitan reducir las emisiones de gases contaminantes y aumentar la eficiencia energética mediante la incorporación de tecnologías más eficientes.

#### 9.2.6 Reino Unido<sup>51</sup>

El compromiso por la Eficiencia Energética (EEC, según sus siglas en inglés – Energy Efficiency Commitment), fue implementado en el año 2002 por el Reino Unido, e impone la obligación de las empresas distribuidoras de gas y electricidad de generar mejoras en eficiencia energética a nivel doméstico. Durante su primer período, entre abril de 2002 y marzo de 2005, se alcanzó un ahorro acumulado de 62 TWh, equivalentes a 0,37 MTC anuales para el año 2010. Durante el segundo período (2005-2008), aún en ejecución, el gobierno estima que generará una reducción de 0,62 MTC anuales para el año 2010. Finalmente, para el último período, 2008-2011, debido al plan conocido como CERT (sigla según su nombre Carbon Emissions Reduction Target – Meta de Reducción de Emisiones de Carbono), se estima un ahorro de entre 0,9 y 1,2 MtC anuales para el año 2010<sup>52</sup>. Dado que cada período incluye distintas medidas, sus ahorros son considerados en forma independiente.

<sup>51</sup> Energy white paper 2003; The energy act 2004; Energy Efficiency Policies and Measures in UK 2006; Energy white paper 2007

<sup>52</sup> Información extraída de "Meeting the Energy Challenge: A White Paper on Energy", publicado por Defra.

El Reino Unido ha implementado una política de Eficiencia Energética (The Energy Act, 2004) basada en un estudio llamado "Energy White Paper" (2003), el cual propone una serie de cambios para mejorar la eficiencia energética (engloba una cantidad de programas actualmente en ejecución, como lo es el EEC), estimándose que el consumo de energía podría reducirse en un 30%, con respecto al año 2000, lo cual llevaría a un ahorro de 10 millones de toneladas de carbón para el 2010 y una misma cantidad para el 2020 (entre 15 y 25 MtC acumulados dependiendo de los resultados en cada período de revisión). Por ahora se espera una actualización de estas medidas, las que serán incorporadas mediante el Energy Bill (2007-2008).

Algunas de las medidas recientemente puestas en práctica en el Reino Unido<sup>53</sup> son:

- *Generación de una estricta regulación en la construcción de nuevas viviendas y edificios:* Actualmente, una casa construida en 2006, es un 40% más eficiente que una construida antes del año 2002. Se espera que cualquier construcción posterior al año 2016, cumpla con la condición de cero emisiones de carbono<sup>54</sup>.
- *Modernización de las construcciones existentes para aumentar su eficiencia:* Se espera que para el 2050, dos tercios de las construcciones existentes sean anteriores a 2005, lo que significa que, en un corto plazo, dejarán de cumplir con las normativas de construcción, por ello, mejorar la eficiencia de éstas, mediante el reemplazo de electrodomésticos, mejoras en aislamiento y otros, es una prioridad.
- *Generación de un etiquetado para construcciones eficientes:* Si bien, toda construcción debe cumplir con las condiciones mínimas impuestas por el gobierno, se planea fomentar la construcción de mejores edificios etiquetando, de acuerdo al tipo de materiales utilizados en la construcción, eficiencia esperada en la utilización de agua, manejo de desechos, eficiencia energética del hogar en su totalidad, impacto ecológico de la construcción, etc. Esta práctica, permitirá reconocer a los constructores que presenten mayores estándares de calidad y que mejor cumplan con las regulaciones impuestas por el estado. Además, se genera un etiquetado para las construcciones ya existentes, entregando detalles de su situación energética y posibilidades de mejoramiento.
- *Entrega de información a través de agencias gubernamentales (carbon trust, energy saving trust)*
- *Etiquetado de Electrodomésticos principales de acuerdo a su consumo promedio.*
- *Eficiencia en el sector Transportes:* el comienzo de una estrategia comunicacional que incluye etiquetado de vehículos, información acerca de conductas eficientes de manejo y la reducción de consumo asociada.

---

<sup>53</sup> De acuerdo a lo planteado en "UK Energy Efficiency Action Plan 2007", publicado por Defra.

<sup>54</sup> En el documento "Building a Greener Future: Towards Zero Carbon Development" (Diciembre, 2006), se propone aumentar para el año 2010 en un 25% la Eficiencia Energética (medida en Emisiones de carbono), para el 2013 en un 44%, y finalmente, en 2016, alcanzar la cifra de cero emisiones, lo que significa que durante un año, las emisiones de carbono de un hogar, debido al uso de energía, serán cero.

### 9.2.7 Brasil

Brasil tiene una larga tradición en programas de Eficiencia Energética. El primer programa data de 1984, cuando se comenzó con el etiquetado de productos de acuerdo a su nivel de consumo y de fuentes de energía alternativas (fotovoltaico, solar-térmico, eólica). Actualmente, según la ley de Eficiencia Energética (Ley N° 10.295), promulgada en Octubre de 2001, se entrega niveles máximos de consumo (o niveles mínimos de eficiencia) para maquinaria y equipos fabricados o importados al país.

Algunas de las medidas aplicadas durante el 2007 son las siguientes:

- Obligación al sector público de que las compras deben incluir sólo equipos eficientes que cumplan con el etiquetado CONPET y PROCEL.
- A través del proyecto GEF/IDB/UNDP de Eficiencia Energética en Edificios, se crearon campañas de educación de administradores y personal, se realizaron evaluaciones para calcular los potenciales de ahorro, se activó el proceso de recambio de equipos de aire acondicionado central, además de un sistema de seguimiento de las medidas cumplidas.
- Campañas informativas en Instituciones Educativas Públicas (Técnicas y Educación Superior), acompañadas de la inclusión en las mallas curriculares de información relativa con el UEE de acuerdo a la disciplina de estudio.
- Programa de reemplazo de un millón de refrigeradores fuera de norma.

Brasil proyecta para el 2030 generar un ahorro del 5% en el consumo energético total, debido a la evolución y recambio de equipos y maquinaria por versiones más eficientes, cambios culturales y de hábitos de los consumidores. Además, se proyecta otro 5% de ahorro inducido directamente por las políticas gubernamentales adoptadas. En conjunto, estos ahorros equivaldrían a 110 TWh anuales.

### 9.2.8 México

En 1989 el gobierno mexicano creó CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía)<sup>55</sup>, la cual funciona en forma independiente de la Secretaría de Energía, y entrega información técnica a instituciones federales públicas en temas relacionados con la Eficiencia Energética. Además, en 1990, se funda el FIDE (Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica), a través del cual, el gobierno mexicano entrega financiamiento a los sectores municipal, comercial e industrial con el objetivo de:

- promover estudios de eficiencia
- incentivar la adquisición de equipos más eficientes y generar facilidades para el recambio de equipos ineficientes
- instaurar medidas de eficiencia en compañías energointensivas
- entregar información y capacitación actualizada utilizando cursos y seminarios FIDE
- impulsar el etiquetado de equipos
- privilegiar la venta de equipos de iluminación eficientes

---

<sup>55</sup> APERC, 2007

De acuerdo a lo publicado por Aperc (2007), hasta la fecha, el FIDE ha proporcionado asistencia financiera a más de 3.000 proyectos de ahorro energético y en los últimos 15 años, el programa de Iluminación Doméstica ha distribuido más de 9 millones de ampollas de alto rendimiento energético. FIDE también ha sido fundamental en la sustitución de más de medio millón de refrigeradores ineficientes y 100.000 equipos de aire acondicionado, así como uno de sus proyectos, destinado a generar mejoras de aislación térmica ha contribuido a lograr mejoras en eficiencia energética en casi 20.000 hogares en sólo 3 años.

La aplicación de los actuales programas de ahorro de energía eléctrica significó un ahorro estimado de 15,5 miles de GWh en el año 2004, equivalente al 10 por ciento de las ventas totales de electricidad para tal año. Parte importante de estos ahorros, se debe a normativas energéticas en vigencia desde la década de 1990: 12.491 GWh en ahorros aproximados en generación, - (equivalentes a 2.220 MW en capacidad) se han logrado a través del consumo de diferentes tipos de fuentes de energía.

Una medida adicional, la instauración del horario de verano en 1996, se tradujo en el ahorro de energía de 8.545 GWh/año y en una disminución de 919 MW en la demanda máxima de electricidad entre su inicio y el año 2003.

#### 9.2.9 España

El gobierno español, a través de su Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE, se encuentra en plena aplicación de su "Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012", la cual, separada en dos etapas (2005-2007 y 2008-2012), planteaba reducir en su primera etapa el consumo acumulado de energía primaria en 12 millones de Tep, equivalentes al 8,5% del consumo total de energía primaria para el año 2004, esta predicción fue superada ya en 2007 en un 25% de acuerdo a lo publicado por IDAE<sup>56</sup>.

Para la segunda etapa, se espera alcanzar un ahorro en términos de la energía primaria adicional de 24,8 millones de Tep, lo que representaría un 13,7% del consumo sobre el año base (2004). Esto logrará reducir el crecimiento de la tasa de crecimiento del consumo energético un 1,07%, en el caso de la energía primaria. Por su parte, la intensidad energética se reducirá, en promedio, en 1,93%/año, lo cual representa una mejora considerando el 0,8% proyectado en un principio, debido a los auspiciosos resultados de la primera etapa.

Algunas de las medidas propuestas para esta segunda etapa son las siguientes:

- *Para el Sector Industrial:* Se busca generar acuerdos voluntarios con los grupos empresariales con tal de alcanzar los ahorros potenciales detectados a través de auditorías energéticas.
- *Para el Sector Público:* Instalación y recambio de alumbrados públicos bajo el "reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior", cursos de formación

---

<sup>56</sup> De acuerdo con "Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España – Plan de Acción 2008-2012", Resumen Ejecutivo, publicado por IDAE el 17 de Julio de 2007.

- Energética para los técnicos municipales, estudios, auditorías y mejoras en instalaciones públicas y centrales de agua, abastecimiento y depuración de agua.
- Para el Sector Agricultura y Pesca: Campañas de comunicación y promoción de técnicas de uso eficiente de la energía en el sector, incorporación de criterios de eficiencia energética en el plan de modernización de tractores agrícolas, mejoras de ahorro y eficiencia energética en el sector pesquero.
  - Para el Sector Construcción: Mejora en el equipamiento de los edificios, sustitución de equipos de aire, luminarias y movimiento de fluidos por sus versiones eficientes. Incorporación de equipos con sistemas de enfriamiento gratuito y de recuperación térmica, incorporación de sistemas de control y regulación para luminarias. Promoción de la mantención del aislamiento en los edificios existentes con el fin de reducir la demanda energética en refrigeración y generación de calor. Incentivo para la construcción de edificios nuevos energéticamente eficientes y la rehabilitación de los existentes con alta calificación energética mediante una línea de apoyo económica. Esta calificación deberá ser renovada en forma periódica, condicionada a que la edificación cumpla con inspecciones periódicas de los sistemas de calderas y aire acondicionado, revisión de la fachada y aislamiento exterior, cumpla con los estándares de eficiencia energética para iluminación, etc. En resumen, que cumpla con las indicaciones entregadas por Código Técnico de la Edificación, con el Nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y con el Procedimiento de Certificación Energética de Edificios.
  - Para Equipos: Generación de un plan de equipamiento y uso eficiente de la Energía en la Administración Pública; promoción del plan RENOVE, con el objetivo de fomentar el reemplazo de electrodomésticos con un bajo etiquetado energético por otros con etiquetado A o superior.
  - Para el Sector Transporte: Generación y promoción de planes de conducción eficientes para vehículos privados, camiones y autobuses y para el sector aéreo; renovación de las flotas aéreas, marítimas, terrestre (en general) y de vehículos turísticos; fomento y colaboración con estudios para mejorar la gestión en todos los subsectores; fomento y cofinanciamiento de planes de transportes eficientes para empresas; aumento de la participación del ferrocarril y del sector marítimo en el transporte, financiando estudios y diseños, generando cursos de formación y estrategias de comunicación.
  - Para el Sector Transformación de la Energía: Fomento de la utilización de la cogeneración invirtiendo en estudios de factibilidad técnico económica; desarrollo del potencial para nuevas instalaciones de cogeneración de alta eficiencia; mediante el plan RENOVE.

## 10 Estimación del potencial de mejoramiento de la eficiencia energética asociado a las medidas del PPEE

El Programa País de Eficiencia Energética, en sus 2 años de existencia ha impulsado el desarrollo de una gran variedad de medidas tendientes a crear conciencia del impacto que el uso eficiente de la energía UEE puede llegar a tener en el país, además de preparar e impulsar la promulgación de distintas normas que tienden a regular la clasificación y etiquetado de distintos artefactos consumidores de energía. A continuación se analizan los impactos potenciales de algunas medidas, seleccionadas en función de la existencia de antecedentes suficientes para estimar dichos impactos.

### 10.1 Recambio de motores para uso industrial y minero

Para estimar el potencial de ahorro a 10 años, en el cuadro 25 se muestra la situación actual y una previsión, a 10 años, del consumo eléctrico en los sectores industrial y minero.

Cuadro 25: Consumo de energía eléctrica en el sector Industrial y Minero

		2006	2016
	%	GWh	GWh
<b>Industria</b>	<b>46,1</b>	<b>13.602</b>	<b>25.774</b>
Papel y Celulosa	14,5	4.279	8.108
Cemento	1,7	502	951
Siderurgia	1,7	502	951
Quím. y Petroquímica	1,8	531	1.007
Azucar	0,3	86	163
Pesca	0,5	148	280
Industrias Varias	25,6	7.555	14.316
<b>Minería</b>	<b>53,9</b>	<b>15.907</b>	<b>30.141</b>
Cobre	47,2	13.930	26.394
Hierro	1,2	354	671
Salitre	1,2	354	671
Minas Varias	4,3	1.269	2.405
<b>Industria Y Minería</b>	<b>51,3</b>	<b>29.512</b>	<b>55.920</b>
<b>Demanda Nacional</b>		<b>57.555</b>	<b>109.057</b>

Fuente: Para el año 2006, Balance Nacional de Energía, CNE. Para el año 2016, elaboración propia en base al estudio "Caracterización del parque actual de motores eléctricos en Chile", PRIEN, diciembre 2006

En una segunda etapa, y para cuantificar el ahorro de energía, producto de la incorporación de motores eficientes, como fruto de una política que incentive su uso, se distinguieron 2 situaciones:

- Proyectos nuevos. Se refiere a la instalación de motores eficientes en nuevas industrias y faenas mineras, o ampliaciones de las instalaciones existentes.
- Sustitución de motores obsoletos. Se supone que estos motores han experimentado reparaciones mayores en diversas oportunidades, durante sus largos años de operación,

razón por la cual, ven disminuida su eficiencia (y, particularmente, su confiabilidad) y, por lo tanto, resulta rentable sustituirlos por motores eficientes. Se incluye también el caso en que los motores deben ser sometidos a reparaciones mayores (rebobinados, por ejemplo) y que, en una política de uso eficiente de la energía, se prefiere reemplazar por motores nuevos eficientes.

- c) Utilización de Variadores de frecuencia VSD en procesos de flujo variable: A diferencia de las válvulas estranguladoras, la disminución del flujo en los VSD va acompañado de una reducción cúbica o cuadrática de la potencia y permitiendo una variación lineal del flujo a diferencia de aquellas que utilizan cajas de velocidades donde las variaciones son discretas.

Para realizar los cálculos de ahorro de energía se considera lo siguiente:

- I. La tasa de crecimiento anual del parque de motores es de 6,6% (promedio anual de crecimiento de la demanda de electricidad los últimos 10 años)<sup>57</sup>
- II. La energía eléctrica consumida por motores corresponde al 70% de la energía total consumida por los sectores estudiados<sup>58</sup>
- III. La vida útil de un motor es de 15 años

Luego, se distinguen tres sectores económicos para los cuales se estima el potencial de ahorro a 10 años:

*a) Industrias y minas varias*

Se considera el consumo eléctrico total correspondiente al subsector Industria y Minas Varias para el año 2006 que alcanza los 8.824 GWh. De acuerdo con la literatura consultada<sup>59</sup>, la estructura del parque por potencia sería la que se indica en el Cuadro 26:

Cuadro 26: Estructura del consumo de los motores eléctricos, por rango de potencia y por uso, en las Industria y Minas Varias, año 2006 (en GWh).

Rango de Potencia [HP]	Bombas	Ventiladores	Compresores	Otros	Total
]0;5]	88,93	56,02	9,42	226,00	380,37
]5;20]	224,98	150,34	34,11	372,11	781,53
]20;50]	269,62	128,34	118,01	361,82	877,78
]50;100]	298,22	89,04	83,22	370,47	840,95
]100;200]	187,03	142,59	115,99	479,72	925,32
]200;500]	197,09	56,54	182,61	456,05	892,30
]500;1000]	87,62	72,15	68,39	506,57	734,73
]1000; ∞ [	88,61	122,84	329,17	203,24	743,87
<b>Total</b>	<b>1.442,09</b>	<b>817,87</b>	<b>940,91</b>	<b>2.975,97</b>	<b>6.176,85</b>

Fuente: PRIEN, 2006

<sup>57</sup> Balance Nacional de Energía, CNE

<sup>58</sup> Office of Technology Assessment, U.S. Congress "Energy Efficiency: Challenges and Opportunities for Electric Utilities", September 1993

<sup>59</sup> Ibid

El ahorro para cada año del período considerado, en el caso de los motores que llegan al final de su vida útil, se determina en base a la función siguiente:

$$Ahorro(x+10) = \lambda \cdot C_{BASE}(x) \cdot ren \cdot p \cdot \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_2}\right) \quad Ec. 9$$

donde:

$x$ : Año base (2006)

$\lambda$ : Proporción de motores que terminarán su vida útil en el año 10.

$C_{BASE}(x)$ : Consumo eléctrico en motores en el año  $x$ .

$\eta_1$ : Rendimiento del equipo estándar.

$\eta_2$ : Rendimiento del equipo nuevo (NEMA 12-10 o NEMA Premium).

$ren$ : Rentabilidad relativa.

$p$ : Factor de penetración.

Para el caso en que la incorporación de motores se deba a nuevos proyectos, la fórmula para calcular los ahorros es:

$$Ahorro(x+10) = [C(x+10) - C_{BASE}(x)] \cdot ren \cdot p \cdot \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_2}\right)$$

donde  $C(x+10)$  corresponde al consumo energético para el año 10 (en este caso, 2016).

Como se considera que la vida útil de los motores es de 15 años, el factor  $\lambda$  es igual a 10/15. Para los rendimientos se considerarán los indicados como NEMA 12-10 y NEMA Premium<sup>60</sup>. La rentabilidad relativa tiene que ver con las horas de uso y las potencias de los motores; en principio,  $ren = 1$  para los motores de hasta 20 HP, más allá de ese límite la introducción de motores Premium no sería rentable<sup>61</sup>. En relación a la tasa de penetración, se estima que ella sería linealmente creciente desde un 10% en el primer año hasta un 60% a fin del período considerado (10 años).

Para el cálculo de ahorro de energía en el subsector se considera el reemplazo de motores por obsolescencia, la incorporación de nuevos motores al parque por apertura de nuevas faenas, además de los ahorros por la puesta en funcionamiento de variadores de frecuencia

---

60 Aun la definición de los criterios para el etiquetado de motores (ensayos y valores límites de las distintas categorías) están en discusión en el INN. Aunque las tablas que aparecen en el proyecto de norma provienen de normas IEC, no existen grandes variaciones entre los valores de la norma utilizada en el estudio y las adoptadas por Chile.

61 Este criterio es conservador debido a que en las Industrias y Minas Varias hay empresas o ramas que trabajan incluso 3 turnos, lo que extiende la viabilidad económica a los motores utilizados por ellas.

(por el uso del variador de frecuencia<sup>62</sup> y por el motor nuevo<sup>63</sup> asociado). Así, en el Cuadro 27 se evalúa los ahorros debido a la selección del motor NEMA Premium en vez del motor NEMA 12-10 cuando se reemplaza un motor al término de su vida útil<sup>64</sup>.

Cuadro 27: Ahorros por selección de motor de alta eficiencia (en GWh/año).

Rango de Potencia [HP]	Ahorro año 10
]0;5]	13,0
]5;20]	10,3
]20;50]	0,0
]50;100]	63,5
]100;200]	54,0
]200;500]	41,6
]500;1000]	26,2
]1000; ∞ [	0,0
<b>Total</b>	<b>208,7</b>

Fuente: PRIEN, 2006

Es importante destacar que el mayor ahorro está dado por la incorporación de variadores de frecuencias en los procesos (88,8% del total) dado que se utilizan en motores de gran tamaño, por tanto, grandes consumidores de energía.

#### b) Minería del cobre

Se considera un consumo eléctrico total para el año 2006 que, según el Balance Nacional de Energía, alcanza a 13.930 GWh. Según estimaciones realizadas, el parque de motores representa un consumo eléctrico como el que se muestra en el cuadro siguiente.

<sup>62</sup> Su uso principal consiste en el accionamiento de bombas de líquidos, ventiladores, correas transportadoras, compresores de aire y otros equipos de funcionamiento similares. En promedio, se estima que su uso en bombas permite un ahorro del 35%; en ventiladores y compresores de aire de un 15 % y, en correas transportadoras, de un 15% )University of Coimbra, Portugal, "Improving the penetration of Energy Efficient Motors and Drives", SAVE II, European Community)

<sup>63</sup> La adquisición de un controlador electrónico de velocidad trae aparejada la compra de un motor eléctrico, debido a que el control electrónico deforma la onda sinusoidal y se producen sobretensiones en el motor. Si los aislantes eléctricos del motor son de diseño antiguo, el motor debe cambiarse. Para ello se emplean los llamados motores "inverter duty" o "motores para convertidores de frecuencia", específicamente diseñados para ser usados a velocidad variable con convertidores de frecuencia.

<sup>64</sup> Conviene señalar que en el estudio del PRIEN utilizado, el precio de la energía eléctrica era claramente inferior a los precios actuales y a los previstos para el horizonte del presente trabajo, por lo que los ahorros estimados son extraordinariamente conservadores.

Cuadro 28: Estructura del consumo de los motores eléctricos,  
por rango de potencia y por uso, en la minería del cobre, año 2006 (en GWh).

Rango de Potencia [HP]	Bombas	Ventiladores	Compresores	Correas	Otros	Total
]0;5]	41,80	51,56	4,21	213,96	62,14	373,69
]5;20]	128,52	100,68	23,51	176,75	225,55	655,00
]20;50]	234,19	158,01	30,60	140,71	370,36	933,88
]50;100]	196,49	39,25	17,08	0,00	715,33	968,15
]100;200]	153,02	229,76	109,67	0,00	713,88	1.206,33
]200;500]	59,10	99,91	438,22	0,00	1.298,03	1.895,26
]500;1000]	17,08	142,05	111,22	0,00	1.661,63	1.931,97
]1000; ∞ [	17,63	667,42	663,54	0,00	437,78	1.786,37
<b>Total</b>	<b>847,83</b>	<b>1.488,65</b>	<b>1.398,05</b>	<b>531,42</b>	<b>5.484,70</b>	<b>9.750,65</b>

Fuente: PRIEN, 2006

Considerando como parámetros la misma vida útil de los motores que en Industrias y Minas Varias,  $ren = 1$  para la mayoría de los motores de la Minería del Cobre, salvo motores que por su función se usan poco. En forma simplificada se supone  $ren = 1$  para los motores de todos los rangos de potencia<sup>65</sup>. En relación a la tasa de penetración, se estima que ella sería linealmente creciente desde un 10% en el primer año hasta un 80% a fin del período considerado (10 años).

Como en el caso de “Industrias y Minas Varias” se considera para el cálculo de ahorros, el cambio de equipos obsoletos, los nuevos motores por puesta en marcha de proyectos nuevos y la incorporación de VSD y el motor nuevo que llevan aparejados. Así se construye el Cuadro 29.

Cuadro 29: Ahorros por selección de motor de alta eficiencia (en GWh/año).

Rango de Potencia [HP]	Ahorro año 10
]0;5]	44,22
]5;20]	85,50
]20;50]	134,29
]50;100]	80,22
]100;200]	134,94
]200;500]	83,16
]500;1000]	60,11
]1000; ∞ [	0,10
<b>Total</b>	<b>622,5</b>

Fuente: PRIEN, 2006

<sup>65</sup> Los motores en la Minería del Cobre se usan en general 3 turnos y casi 365 días al año, los motores se detienen en principio 2 a 3 semanas al año por mantención preventiva

c) Sector Gran Industria y otra minería<sup>66</sup>

Para el año 2006, se considera un consumo eléctrico total para el sector Gran industria y otra Minería de 6.756 GWh (según el Balance Nacional de Energía de 2006, CNE). La estructura de consumo, según potencia de motores se muestra en el Cuadro 30.

En principio,  $ren = 1$  para la mayoría de los motores de la Gran Industria y otra Minería, salvo motores que por su función se usan poco. En forma estimativa se supone  $ren = 0,9$  para los motores de todos los rangos de potencia<sup>67</sup>. En relación a la tasa de penetración, se estima que ella sería linealmente creciente desde un 10% en el primer año hasta un 80% a fin del período considerado (10 años). Así, los ahorros estimados son los mostrados en el Cuadro 31.

Cuadro 30: Estructura del consumo de los motores eléctricos, por rango de potencia y por uso, en el sector industrial y otra minería, año 2006 (en GWh).

Rango de Potencia [HP]	Bombas	Ventiladores	Compresores	Correas	Otros	Total
]0;5]	21,88	15,83	1,10	10,55	39,70	89,05
]5;20]	86,82	35,59	4,72	23,98	73,27	224,38
]20;50]	167,79	41,11	20,70	19,80	158,07	407,48
]50;100]	241,73	68,81	42,64	5,81	242,83	601,82
]100;200]	245,21	81,36	26,02	2,45	266,75	621,78
]200;500]	340,02	72,86	66,00	1,64	480,53	961,05
]500;1000]	247,28	219,01	123,22	0,79	343,24	933,54
]1000;∞[	38,36	322,32	78,98	0,00	452,01	891,68
Total	1.389,08	856,89	363,39	65,01	2.056,40	4.730,77

Fuente: PRIEN

Como en el caso de “Industrias y Minas Varias” y “Minería del Cobre” se considera para el cálculo de ahorros, el cambio de equipos por obsolescencia, los nuevos motores puestos en giro por la apertura de nuevas faenas mineras o por puesta en marcha de nuevos proyectos industriales y la incorporación de variadores de frecuencia (VSD) y el motor nuevo que llevan aparejados. Así se construye el Cuadro 31.

<sup>66</sup> Se considera como “otra minería” a Hierro y Salitre. El sector industrial excluye “Industrias varias”

<sup>67</sup> Los motores en la Industria de Papel y Celulosa, la Siderurgia y el Cemento se usan en general 3 turnos y casi 365 días al año, los motores se detienen en principio 2 a 3 semanas al año por mantención preventiva.

Cuadro 31: Ahorros por selección de motor de alta eficiencia (en GWh/año).

Rango de Potencia [HP]	Ahorro año 10
16,0	16,0
44,2	44,2
71,2	71,2
106,3	106,3
110,0	110,0
140,3	140,3
161,7	161,7
0,1	0,1
<b>649,6</b>	<b>649,6</b>

Fuente: PRIEN, 2006

Como en los 2 casos anteriores, la principal fuente de ahorro energético es la incorporación de VSD. Su puesta en marcha junto con un motor nuevo significa el 98,6% del ahorro total.

Luego, considerando los 3 subsectores estudiados, el potencial de ahorro alcanza a 1.480,8 GWh al año 10 por la elección de motores eficientes al comprar un nuevo motor o reemplazar uno al final de su vida útil<sup>68</sup>.

Es importante destacar que las normas de etiquetado a nivel nacional están concebidas para motores hasta 150 kW. Sin embargo, los grandes consumidores de energía (Industria y Minería) cuentan con una gran cantidad de motores de potencias superiores a este valor. De ahí la importancia de la incorporación de VSD dado que aumentan la eficiencia de grandes motores, por lo tanto, sobre grandes consumidores de energía.

## 10.2 Reglamentación térmica para viviendas

La Reglamentación Térmica, vigente desde el año 2000 en su primera etapa y desde el 1 de enero de 2007 en su segunda etapa, tiene por objetivo que todas las viviendas cumplan con exigencias de acondicionamiento térmico en el complejo techumbre, en los muros perimetrales, en pisos ventilados y en ventanas.

De este modo, los elementos de la envolvente de las viviendas deben tener una transmitancia térmica igual o menor a la señalada para la zona que le corresponda al proyecto de arquitectura, de acuerdo con los planos de zonificación térmica aprobados por resoluciones del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

<sup>68</sup> Los precios actuales y previstos de la energía eléctrica permitirán hacer más rentable la incorporación de motores eficientes y de alta eficiencia que los estimados en el estudio citado del PRIEN.

Según un estudio realizado por Ambiente Consultores en colaboración con PRIEN para el MINVU se estimó una transmitancia térmica para cada tipología de viviendas y además, las pérdidas promedio antes de la implementación de la Reglamentación Térmica son las mostradas en el Cuadro 32.

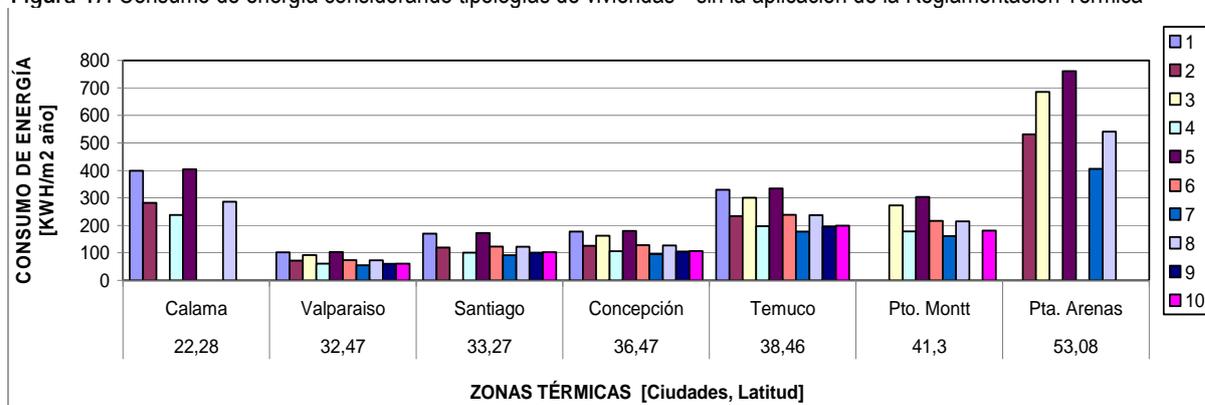
Cuadro 32: Coeficiente volumétrico de transferencia de calor y porcentajes de pérdida de calor en las tipologías, con 3 renovaciones de aire por hora

Categoría <sup>69</sup>	Tipología	G [W/m³K]	% Pérdida Muro	% Pérdida Techumbre	% Pérdida Ventana	% Pérdida Puerta	% Pérdida Piso	% Pérdida Infiltraciones	Total
i	1	4,3	21,7%	36,8%	8,0%	1,5%	7,4%	24,5%	100%
	3	3,9	9,1%	38,9%	17,0%	1,5%	6,4%	27,1%	100%
	5	4,3	18,6%	40,1%	8,6%	1,4%	6,9%	24,4%	100%
ii	2	3,1	43,8%	3,3%	9,7%	3,3%	6,5%	33,4%	100%
	6	3,9	25,1%	29,5%	12,5%	1,3%	4,3%	27,3%	100%
	7	2,4	25,2%	4,2%	15,9%	2,3%	8,6%	43,8%	100%
	8	4,2	17,1%	40,0%	10,5%	2,1%	5,4%	24,9%	100%
iii	4	3,3	28,4%	22,3%	11,7%	2,2%	3,9%	31,5%	100%
	9	2,6	29,9%	6,1%	20,7%	1,3%	1,1%	41,0%	100%
	10	2,6	24,1%	10,1%	21,6%	2,2%	1,8%	40,2%	100%

Fuente: Ambiente Consultores y PRIEN, 2007

Para mostrar de manera más detallada los consumos unitarios, se presenta la Figura 47 donde estos consumos se separan para las distintas ciudades, que abarcan las 7 zonas térmicas del país, y tipologías consideradas.

Figura 47: Consumo de energía considerando tipologías de viviendas<sup>70</sup> sin la aplicación de la Reglamentación Térmica



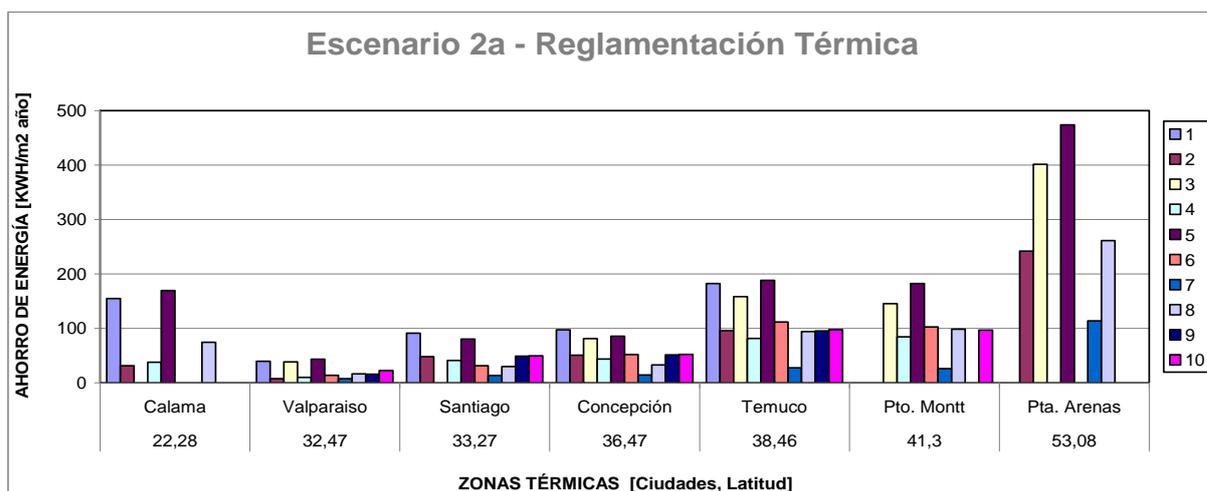
Fuente: Ambiente Consultores y PRIEN, 2007

<sup>69</sup> i) tipologías sin ningún grado de aislación de la envolvente. ii) tipologías con aislación del complejo techumbre. iii) tipologías de departamentos.

<sup>70</sup> T.1 = Casa pareada 1 piso 32,47 m<sup>2</sup> Albañilería. T.2 = Casa pareada 2 pisos 40 m<sup>2</sup> Albañilería. T.3 = Casa Aislada sobre pilotes 1 piso 39,7 m<sup>2</sup> Madera. T.4 = Departamento Edif. 3 pisos 42,8 m<sup>2</sup> Albañilería. T.5 = Casa Aislada 1 piso 72 m<sup>2</sup> Albañilería. T.6 = Casa pareada 2 pisos 81 m<sup>2</sup> Albañilería. T.7 = Casa Pareada 2 pisos 39,9 m<sup>2</sup> Madera. T.8 = Casa Aislada mixta 2 pisos 74,27 m<sup>2</sup> Albañilería + Madera. T.9 = Departamento Edif. 15 pisos 67,7 m<sup>2</sup> Hormigón Armado. T. 10 Departamento Edif. 6 a 10 pisos 68,3 m<sup>2</sup> Hormigón Armado.

Dado que se conoce cual será la mejora en la transmitancia térmica de las viviendas, es posible calcular los ahorros debido a la homologación con la Reglamentación Térmica del MINVU. Estos ahorros se muestran en la Figura 48.

Figura 48: Ahorro de energía al homologar con Reglamentación térmica



Fuente: Ambiente Consultores y PRIEN

De la observación de la Figura 47 y la Figura 48 es posible afirmar, de manera aproximada, que los ahorros por reacondicionar las viviendas de modo que cumplan con la reglamentación térmica fluctúan entre un 7% y un 60% (alcanzándose los máximos en la ciudad de Punta Arenas y los mínimos en Calama y Valparaíso), siendo el promedio a nivel país de 36%.

Del informe “Programa de Inversión Pública para Fomentar el Reacondicionamiento Térmico del Parque Construido de Viviendas” (Ambiente Consultores, PRIEN 2007) se tiene que el consumo estimado en calefacción anual de las familias chilenas corresponde al 52% del total de energía consumida. El consumo energético del sector residencial, para el año 2006 (CNE) alcanza a 50.062 Tcal (58.072 GWh). Considerando que, según estimaciones en base a cifras del INE en Chile al año 2006 había 4.818.928 viviendas, se tiene un consumo por vivienda de 5,6 Gcal/año (6,52 MWh/año).

Considerando que a partir del año 2000, entró en vigencia la primera etapa de la Reglamentación Térmica, se estima que el número de viviendas construidas bajo la norma de techumbre asciende a aproximadamente 400.000 de acuerdo con el panel “Impactos y Oportunidades de la nueva política habitacional de inclusión social” [CChC, Enero 2007]. De este modo se infiere que el stock de viviendas susceptibles de reacondicionar térmicamente en Chile equivale a 4,4 millones de viviendas. Sin embargo, se debe descontar las viviendas que son irre recuperables, las que para el año 2002 alcanzaban al 4% del total de viviendas. Suponiendo que la proporción se mantiene constante, para el año 2006 el número de viviendas sobre las cuales tendría efecto la homologación con la Reglamentación Térmica del MINVU es 4,2 millones.

De acuerdo con los resultados del proyecto “Programa de Inversión Pública para Fomentar el Reacondicionamiento Térmico del Parque Construido de Viviendas” (Ambiente y PRIEN 2007) se

podría esperar ahorros de estimados de 25% a 70% en términos anuales, con respecto a los consumos sin reacondicionamiento. Para estimar los ahorros a nivel nacional se considera que el ahorro medio a nivel nacional sería de 36%<sup>71</sup>.

Para la estimación se considera como línea base el consumo en calefacción del parque total de viviendas en cada año. El ahorro es Los resultados de realizar la homologación del parque existente de viviendas con la Reglamentación Térmica, significan al final del periodo, un ahorro del 6,69% del consumo en calefacción para el sector residencial. Así, la tasa de reducción anual del consumo en calefacción es del 0,46%.

Por otro lado, es importante considerar el establecimiento de la obligatoriedad de construir por sobre estándares mínimos es un primer paso hacia una normativa exigente en los que a construcción eficiente de viviendas se refiere.

Considerando que la reglamentación constituye un acuerdo entre una serie de actores interesados (Gobierno y constructoras principalmente), exige un estándar mínimo de eficiencia para construcción de viviendas. Esta situación debería evolucionar en el tiempo orientando la normativa hacia estándares de calidad internacionales para la construcción de viviendas, acompañados con medidas como las implementadas en el Reino Unido, donde se pretende educar a los consumidores, entregándoles información acerca del “ciclo de vida” de la vivienda a través de instructivos y etiquetas.

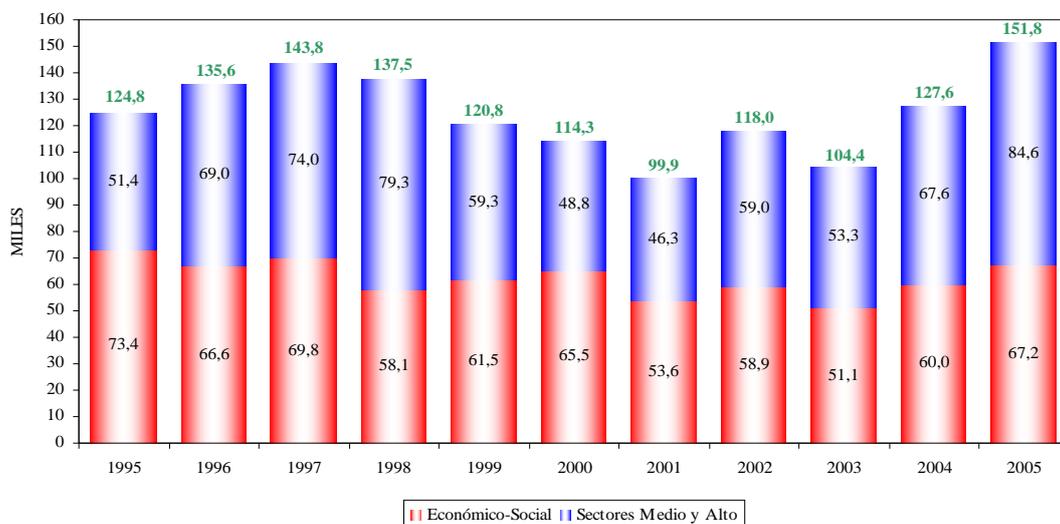
De establecerse una normativa más exigente se tendría un impacto en el parque de viviendas nuevas. En la Figura 49 se muestra la cantidad de viviendas construidas para estratos bajos y medios – altos entre los años 1995 y 2005. El promedio anual de viviendas construidas en el periodo es de 63.000 para estratos medio-alto con una tasa de crecimiento promedio del 6,4% anual a lo largo del periodo, con relación a las viviendas construidas en 1995. Para las viviendas de estratos bajos (viviendas económicas y sociales), el promedio anual de viviendas construidas en el periodo fue de 62.300 con una tasa de crecimiento anual promedio de -0.1% con respecto a las viviendas construidas en 1995.

Con lo anterior y considerando que el consumo por calefacción antes de la Reglamentación Térmica era de 5,6 Gcal/año, que entre 2006 y 2011 las viviendas construidas presentan un ahorro del 36% con respecto a las viviendas construidas antes de la Reglamentación Térmica y que en 2011 entra en vigencia una nueva normativa que hará disminuir los consumos en un 14% adicional, es decir, un 50% en comparación con el consumo antes de la Reglamentación Térmica, además de la homologación de las viviendas construidas antes de la entrada en vigencia de la Reglamentación, se obtendría un ahorro en el año 2021 de 10.428 GWh/año, lo que significa un ahorro del 16,2% con respecto a la línea base. La evolución a lo largo del periodo se observa en la Figura 50.

---

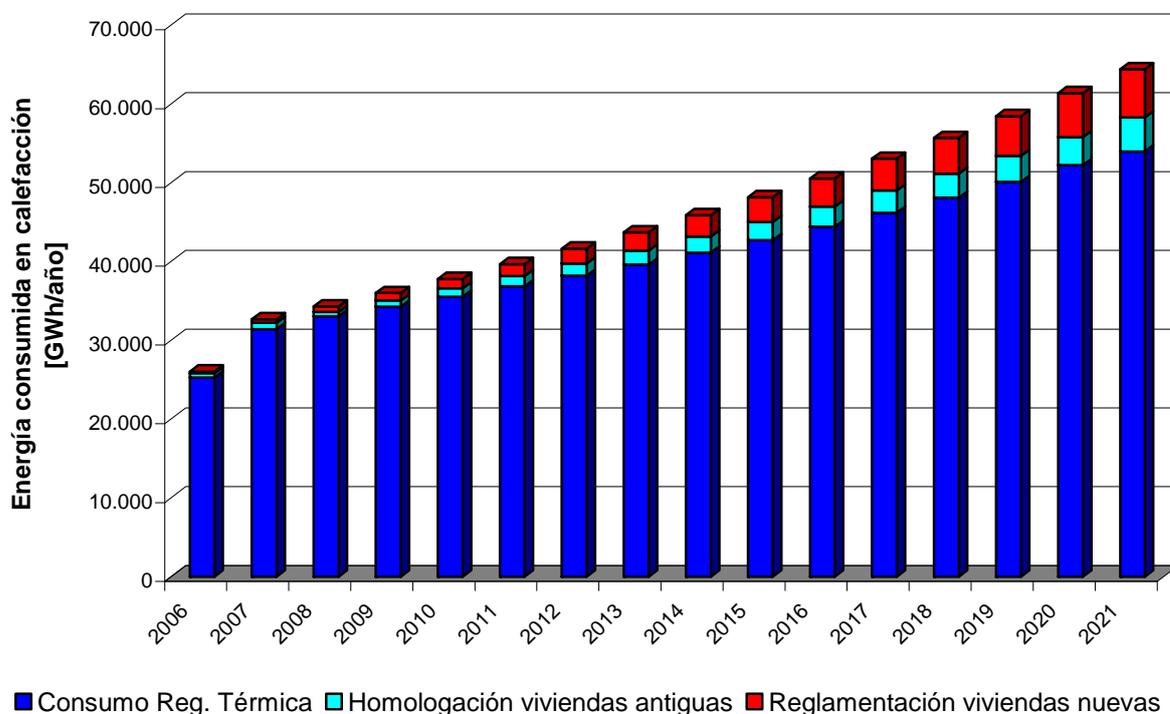
<sup>71</sup> Se debe considerar que los valores extremos de ahorro ocurren en zonas extremas del país y, por lo tanto, menos pobladas. Así, se obtiene que el ahorro promedio considerado es representativo de la realidad del país.

Figura 49: Evolución histórica de viviendas construidas, por sectores Bajo y Medio-Alto



Fuente: Arq. Mario Grandón, Panel "Impactos y oportunidades de la nueva política habitacional de inclusión social" Basado en los permisos de edificación del INE

Figura 50: Consumo y ahorro con Reglamentación térmica



Fuente: Elaboración propia

### 10.3 Incorporación de criterios de EE en obras públicas y su mantenimiento

El uso de energía de los edificios del sector público se relaciona con las características físicas del edificio, la edad de los edificios, la eficiencia de los equipos, el comportamiento de los ocupantes, la ubicación. Edificios con diferentes actividades, requieren de diversos servicios energéticos con variados niveles de operación, por ejemplo, los consumos en un colegio son muy distintos a los consumos en un hospital o en un juzgado.

Cifras de la Comisión Nacional de Energía indican que el sector Comercial, Público y Residencial consume alrededor del 25% de la energía del país y con pérdidas que se estiman en un 65% (Comisión Nacional de Energía, 1993). Esta situación, que prácticamente se ha mantenido inalterada durante los últimos 20 años, es un índice de que la calidad térmica de los edificios en Chile es muy deficiente. Tanto los niveles de consumo como las emisiones ambientales no son sustentables en el mediano plazo.

La experiencia internacional ha demostrado que se pueden lograr reducciones importantes en el uso de la energía, en edificios construidos, entre 10 a 30% dependiendo de la inversión realizada. Sin embargo, en un caso en Chile, la experiencia del PRIEN, dada una auditoría de eficiencia energética realizada en el edificio de Teatinos 120, se estimó que el potencial de ahorro en edificios de las características del mencionado edificio administrativo es de un 15% sobre el consumo total de energía. Esto puede extenderse a otros edificios, tales como las escuelas, las cárceles y los recintos hospitalarios; por lo tanto, el potencial de ahorro de la incorporación de criterios de EE en obras públicas y su mantenimiento en edificios ya construidos es de 241 GWh anuales (considerando el consumo del Sector Público del año 2006 que corresponde a 1.609 GWh según el Balance Nacional de Energía de la CNE). Por otro lado, el ahorro por la introducción de medidas tendientes a aumentar la eficiencia en el uso de la energía en los edificios públicos desde su construcción, considerando el ciclo de vida completo del edificio y no solo el costo inicial al adjudicar el proyecto, tiene asociado, según la experiencia del PRIEN y la literatura especializada, un potencial superior al 20%, variando según el tipo de edificio.

Además, deberá destacarse un potencial poco explotado por los gobiernos que consiste en aprovechar en plenitud el poder comprador del Estado. Este poder de compra debiera ser utilizado para dirigir la oferta hacia productos de mayor eficiencia energética, como por ejemplo, entre otros las luminarias públicas. Según estimaciones<sup>72</sup>, en el año 2003, de los 1.371 GWh consumidos por el sector público, alrededor de un 60% corresponde a alumbrado público (AP), alrededor de un 22% al gasto en energía eléctrica del gobierno central, y el restante 18% debe estar concentrado en otros gastos municipales como consultorios, edificios municipales, semáforos, escuelas, entre otros. De los 823 GWh consumidos por AP es posible según estudios<sup>73</sup> disminuir el consumo en un 4%, es decir, un ahorro anual de 29 GWh.

---

<sup>72</sup> Estimaciones a partir del Informa 341 de la SINIM, considerando 60 \$/kWh

<sup>73</sup> En base a estudio "Aplicación de criterios de eficiencia energética en contrataciones públicas", PRIEN, 2005

#### 10.4 Certificación de EE en artefactos domésticos

En septiembre de 1992 Unión Europea armonizó las medidas nacionales relativas a la publicación de datos sobre el consumo de energía de los aparatos domésticos, de manera que los consumidores puedan elegir aparatos que tengan un mejor rendimiento energético. La medida se aplicó a los siguientes tipos de aparatos domésticos, incluso si éstos son vendidos para usos no domésticos:

- frigoríficos, congeladores y aparatos combinados (directiva de implementación en 1994)
- lavadoras, secadoras de ropa y aparatos combinados (directiva de implementación en 1995)
- lavavajillas (directiva de implementación en 1997)
- hornos
- calentadores de agua y otros aparatos de almacenamiento de agua caliente;
- fuentes de luz (directiva de implementación en 1998)
- aparatos de aire acondicionado (directiva de implementación en 1994)

Luego del establecimiento en 1992 de la obligatoriedad de un etiquetado informativo acerca de consumo energético y EE la cantidad de refrigeradores eficientes utilizada aumentó según se observa en la Figura 51. Sin embargo, es importante considerar que en el año 1996 se estableció la obligatoriedad de niveles mínimos de eficiencia de refrigeradores (MEPS), los cuales fueron aplicados por los estados miembros a fines de 1999.

El caso de Estados Unidos es similar a la UEE, dado que junto con el etiquetado se establecieron los parámetros máximos de consumo de energía según volumen del refrigerador. Dicho en otras palabras, por la vía legal se fijaron estándares mínimos de eficiencia para equipos de conservación de alimentos. Así en un corto periodo de tiempo, se logró disminuir drásticamente el consumo de los refrigeradores sin disminuir su capacidad. Muy por el contrario, se logró tener refrigeradores más grandes y menos consumidores de energía.

Figura 51: Impacto en la Unión Europea del etiquetado de refrigeradores

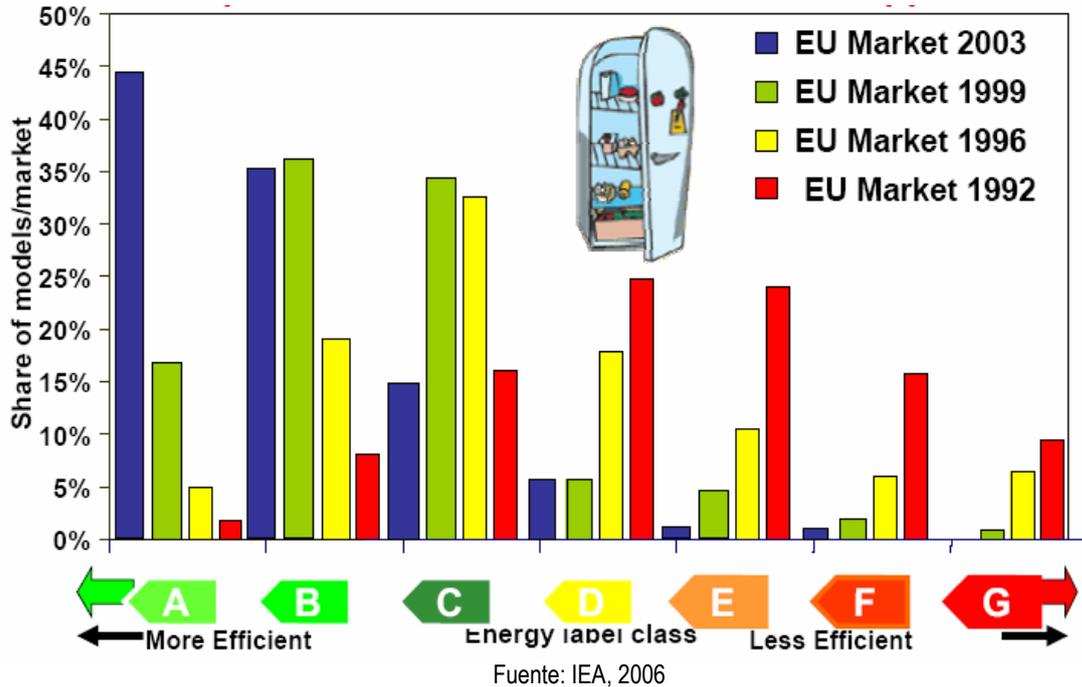
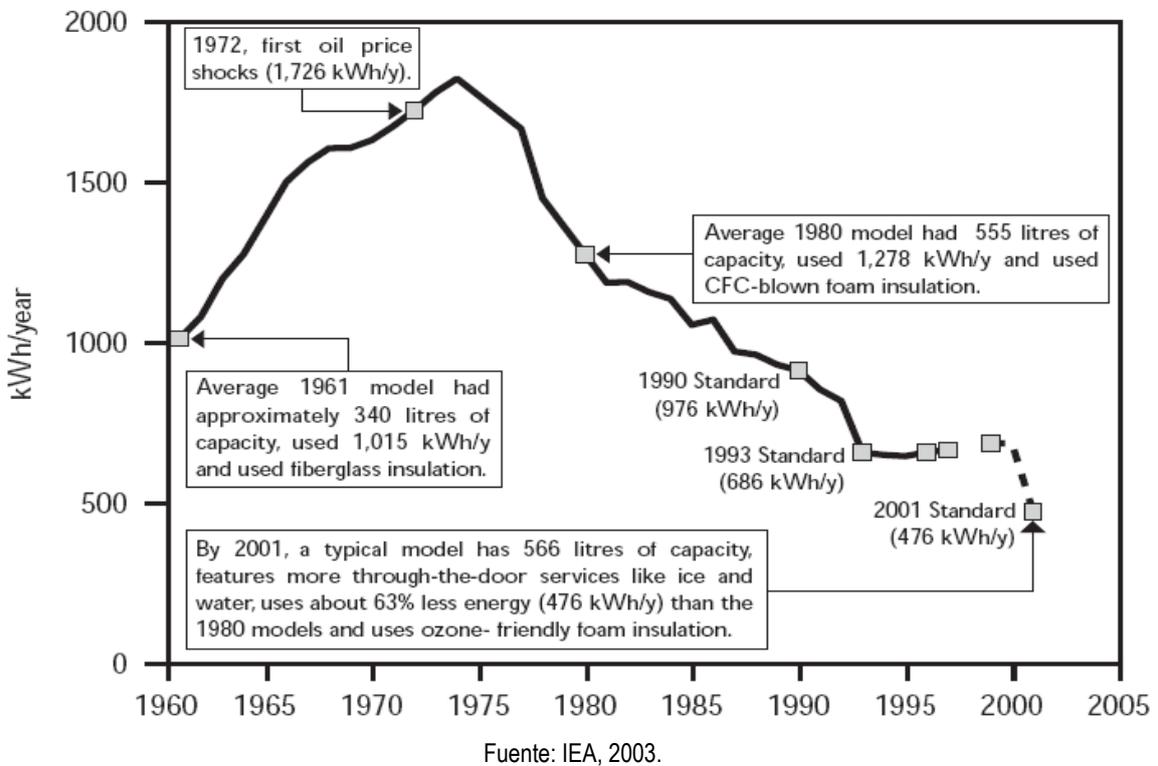
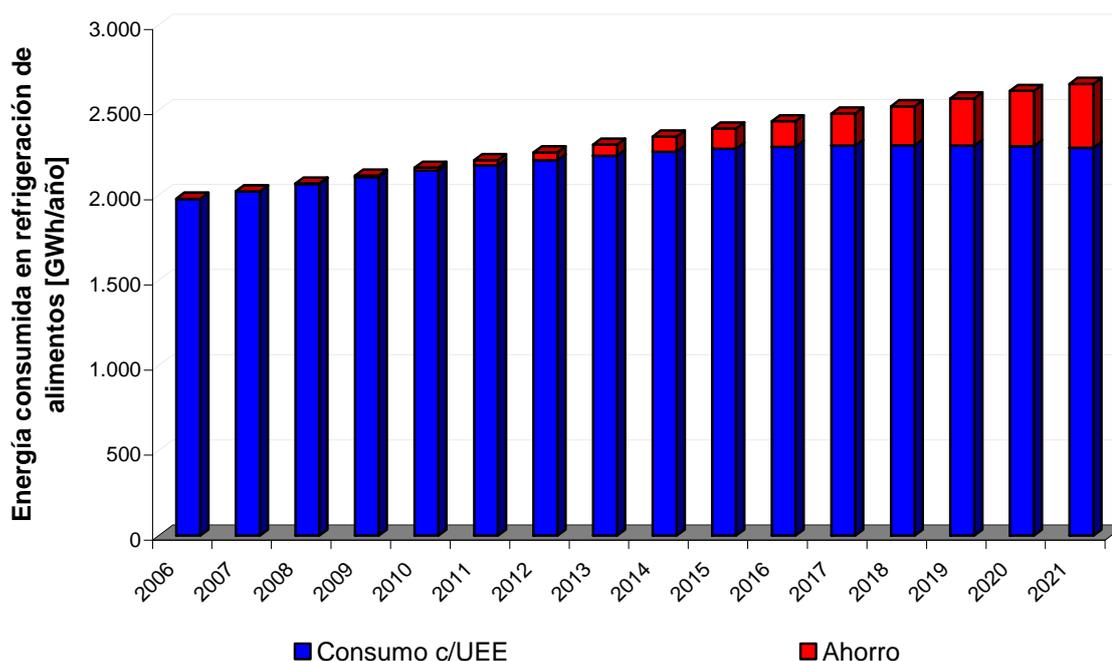


Figura 52: Evolución del consumo anual de energía para refrigeradores según exigencias legales en EE.UU.



En el caso de Chile, se ha supuesto una vida útil promedio de 15 años, un consumo promedio de los refrigeradores (línea base) de 492kWh/año y que las políticas de ahorro (etiquetado y MEPS) contribuirán con un aumento promedio en la eficiencia de los nuevos refrigeradores vendidos, de 11% y 25%, al cabo de 6 años y 12 años, respectivamente<sup>74</sup>. Manteniéndose este impacto constante a lo largo del resto del periodo de evaluación. Con esto, la evolución en el consumo de energía se comporta según se observa en la Figura 53.

Figura 53: Evolución del consumo energético en refrigeración de alimentos residenciales con UEE



Fuente: Elaboración propia

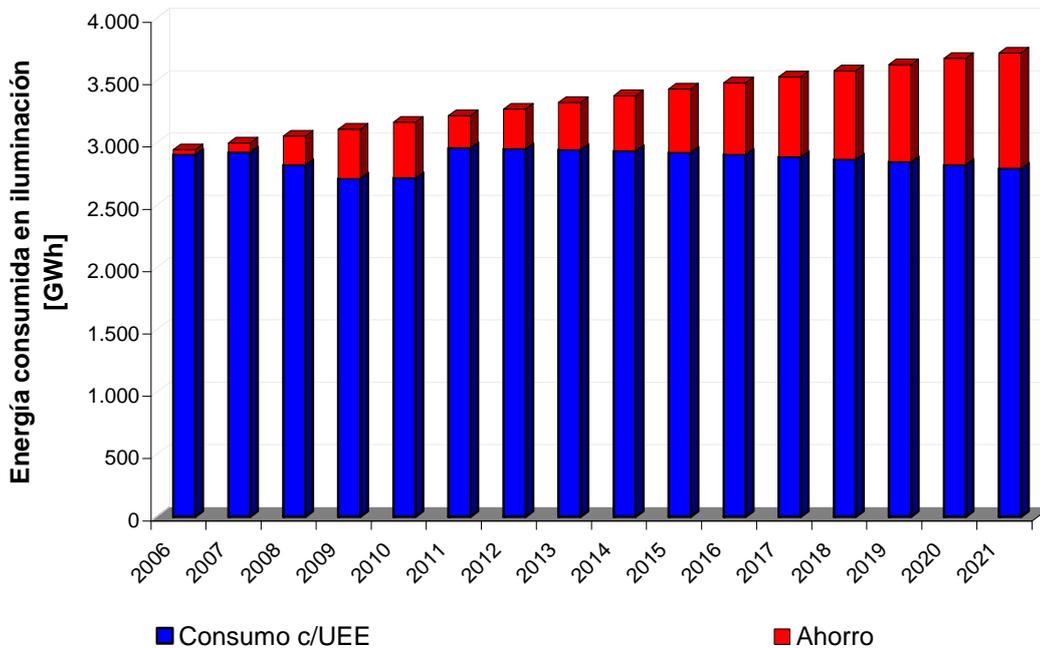
Por otro lado, en el año 1998 se estableció la reglamentación en Europa para las fuentes lumínicas. Sin embargo, a pesar de haber tenido un gran éxito con otros productos, esta etiqueta no logró hacer que las ampolletas de bajo consumo adquiriesen una importante cuota de mercado. Al parecer, esto se debe a la gran diferencia de precio para los consumidores, así como a consideraciones estéticas y calidad del color.

Considerando lo anterior, se puede decir que el solo hecho de haber establecido la obligatoriedad del etiquetado de luminarias en Chile no asegura un impacto sobre el consumo. Sin embargo, de realizarse una campaña estatal que regale 2 ampolletas eficientes al 40% más pobre de la población, y que a los sectores de mayores recursos se les ofrezca la posibilidad de comprar a crédito un pack de 4 ampolletas y pagarlas por medio de cómodas cuotas mensuales en la cuenta de electricidad, los impactos en el consumo serían los que se muestran en la Figura

<sup>74</sup> No se consideraron los resultados de un estudio previo acerca del potencial asociado al etiquetado de refrigeradores dado que éste se apoyó en información de base que, con los datos actuales, parecería conducir a conclusiones relativamente sobreestimadas.

54, considerando que el consumo de energía eléctrica durante el año 2006 por el ítem de iluminación en el sector residencial alcanzó los 2.945 GWh/año.

Figura 54: Ahorro introducido por políticas de eficiencia en iluminación



Fuente: Elaboración propia

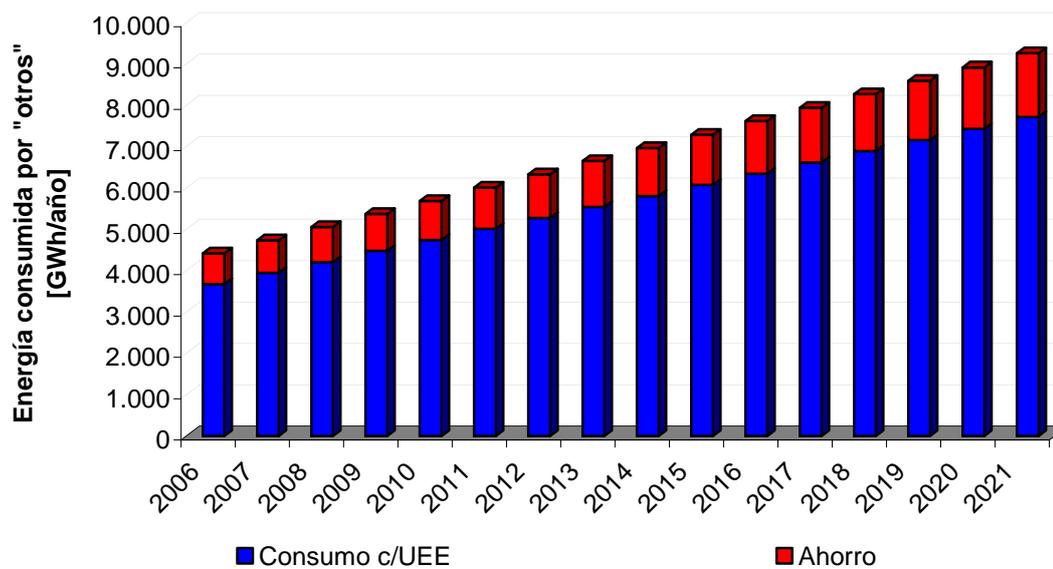
En la Figura 54 es posible apreciar un comportamiento singular entre los años 2008 y 2010 debido a que se ha supuesto que el programa de obsequio de las ampollitas de bajo consumo no se renueva y sólo se mantiene la venta del pack de 4 ampollitas eficientes, programa que presentaría una tasa de penetración creciente.

Si además de refrigeradores y luminarias se incluye el etiquetado de:

- lavadoras
- secadoras
- lavaplatos
- aire acondicionado
- calentadores de agua
- hornos
- televisores
- impresoras
- fotocopadoras
- fax
- computadores

es posible estimar un ahorro adicional del orden del que se muestra en la Figura 55. El total, correspondería a la línea base del consumo de "otros" sin incluir un etiquetado de eficiencia energética. Así, el ahorro podría alcanzar en el año 2021 un 20% del consumo energético en "otros".

Figura 55: Ahorro por etiquetado de "otros"



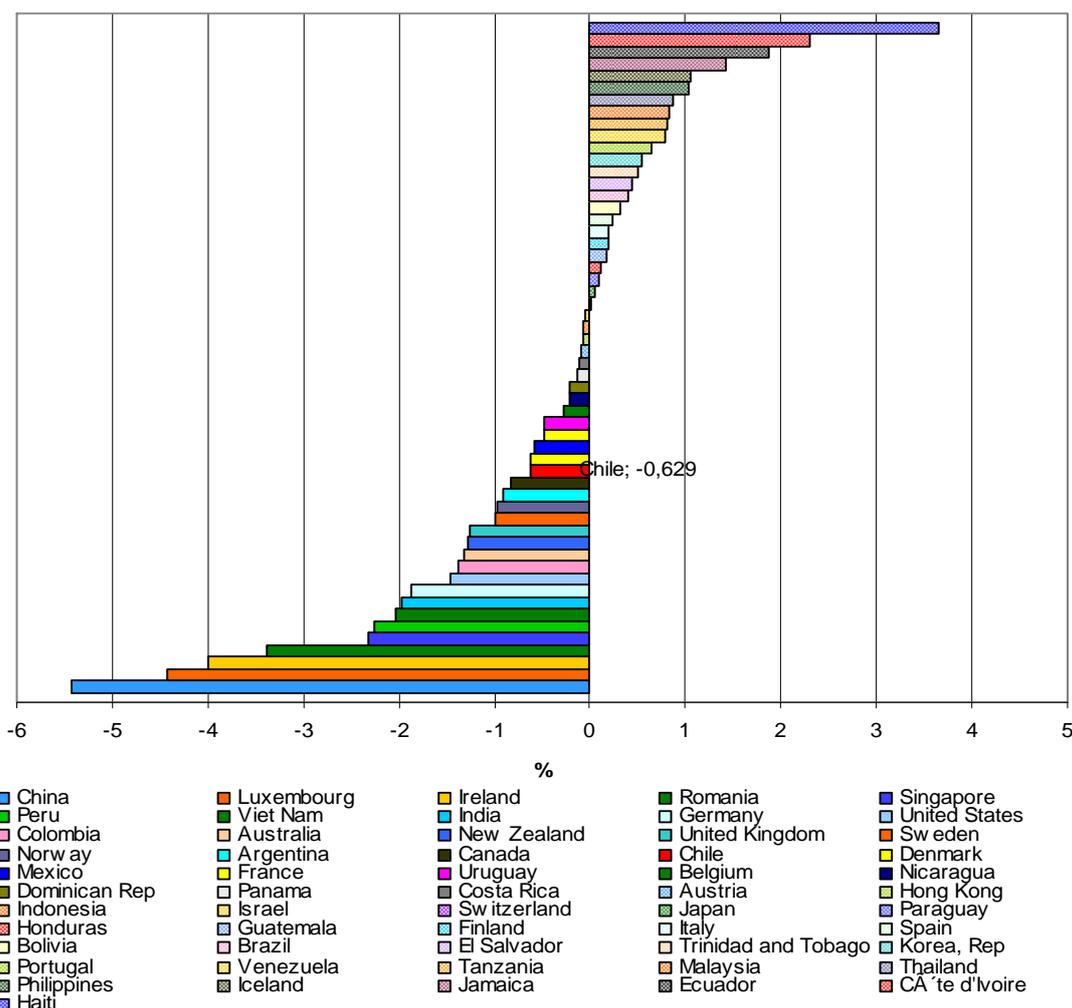
Fuente: Elaboración propia

## 11 Potencial Global de Eficiencia Energética en Chile

La Figura 56 permite juzgar la situación relativa de Chile en relación a la eficiencia energética comparada con la de distintos países, expresada como la variación anual de la intensidad energética. Actualmente, Chile, a nivel agregado, consume menos energía por unidad de actividad económica que en el año 1990. De cualquier forma, es necesario observar este comportamiento a largo plazo, ya que los altos precios del cobre y la baja del dólar pueden haber influido en el valor del PIB. En forma inversa, la aparente subestimación del consumo de leña implicaría a su vez una subestimación del consumo global de energía. Ambas situaciones podrían traducirse en una menor o nula reducción efectiva de la intensidad energética.

En el informe realizado por Santiago Consultores el año 2004 para la CNE se reportó (APEREC, 2001) un aumento del 0,2% en la intensidad energética para el periodo 1980 – 1998. Para el periodo 1990 – 2003 se observa una mejora cayendo en un 0,6% el valor de este indicador, no obstante ambos valores no son comparables dado que tienen distintos años base.

Figura 56: Situación de Chile en relación a la variación de la Intensidad energética entre los años 1990 a 2003



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de APERC 2006

### 11.1 Proyección de los datos energéticos

Para realizar un análisis del comportamiento de la demanda energética nacional al 2021, fue necesario proyectar el crecimiento del consumo energético. En términos generales, existen estimaciones adecuadas del crecimiento económico para el futuro de mediano plazo, por lo que se utilizará dichas previsiones y una estimación de la elasticidad de la energía con respecto al PIB para obtener el crecimiento global de la demanda de energía en el país.

Para calcular la elasticidad del consumo de energía con respecto al PIB se utilizan los datos de la década de los 90, específicamente entre 1990 y 1999. La elasticidad se calcula como sigue:

$$e = \frac{\frac{E_{1999} - E_{1990}}{E_{1999}}}{\frac{PIB_{1999} - PIB_{1990}}{PIB_{1999}}}$$

La aplicación de la ecuación anterior da como resultado una elasticidad de 0,99334.

Por su parte, la tasa de crecimiento para el PIB considerada es del 5% (De Gregorio, 2005). Esta tasa es consistente con lo proyectado por el Ministerio de Hacienda como crecimiento económico<sup>75</sup> (Ministerio de Hacienda, 2007).

Entonces, considerando la elasticidad y la tasa de crecimiento del PIB se tiene que la tasa de crecimiento del consumo energético es 4,9667%. Teniendo la tasa de crecimiento global del consumo energético y considerando la participación histórica en el de las principales ramas y sectores consumidores de energía (Cuadro 33) se obtiene la distribución futura del consumo de energía según los usuarios principales.

Cuadro 33: Participación de los sectores consumidores de energía en el consumo global

<b>Industrial y Minero</b>	<b>26,56%</b>
Papel y Celulosa	4,26%
Siderurgia	1,93%
Petroquímica	0,23%
Cemento	1,01%
Azúcar	0,52%
Pesca	0,85%
Cobre	6,40%
Salitre	0,48%
Hierro	0,45%
Industrias Varias	8,71%
Minas Varias -3-	1,72%
<b>Servicios<sup>76</sup></b>	<b>2,65%</b>
Comercial y Público	2,65%
<b>Transporte</b>	<b>24,67%</b>
Caminero	18,49%
Ferroviano	0,12%
Marítimo	3,81%
Aéreo	2,25%
<b>Residencial</b>	<b>18,23%</b>

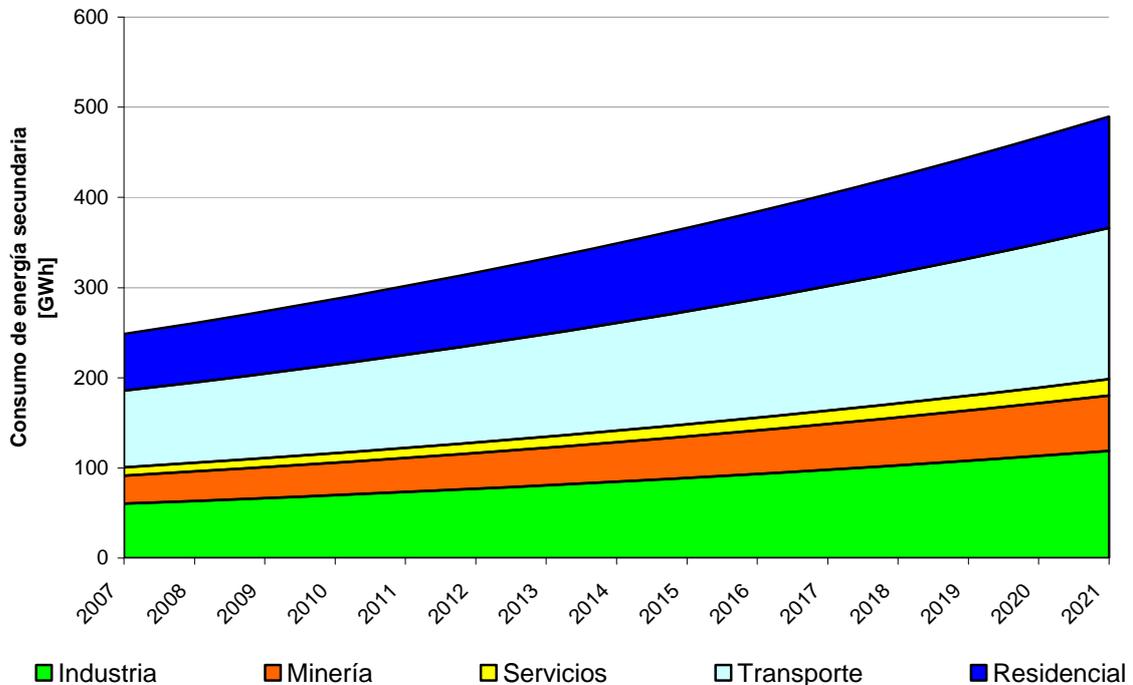
Fuente: Elaboración propia

<sup>75</sup> El documento del Ministerio de Hacienda proyecta un crecimiento del 3% para el PIB per cápita. Considerando además el crecimiento de la población se obtiene que el PIB global crecerá a una tasa del 5% anual hasta el 2020.

<sup>76</sup> No se consideran los centros de transformación en el análisis dado que no corresponden a uso final de la energía.

El escenario base, sin eficiencia energética, se define en base a la proyección global del consumo y de su estructura sectorial y por ramas se muestra en la Figura 57.

Figura 57: Evolución del consumo de energía sectorial

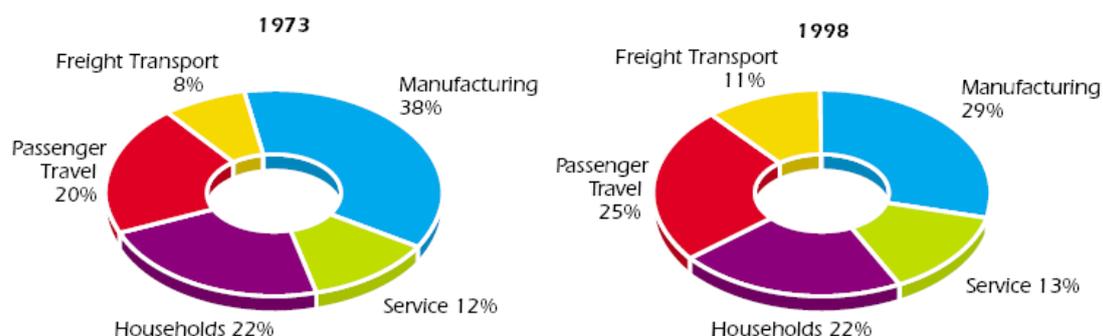


Fuente: Elaboración propia

## 11.2 Sector Industrial

En el sector industrial, a nivel internacional, han ocurrido cambios importantes en el uso de la energía, es el caso por ejemplo de los países de IEA – 11. En la Figura 58 se aprecia que la participación en el consumo energético del sector manufacturero disminuyó en un 9% entre los años 1973 y 1998. Sin embargo, el valor agregado del sector aumentó en un 2% aproximadamente. Esta diferencia entre valor agregado y consumo de energía se debe principalmente a efectos de la intensidad energética (ver Figura 59).

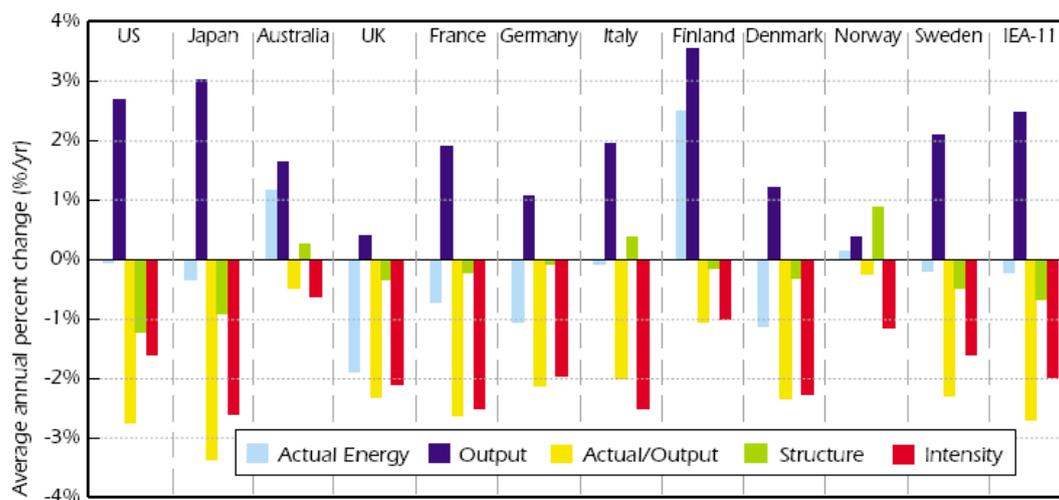
Figura 58: Distribución del consumo de energía en los países de IEA-11



Fuente: IEA, OECD, 2004

La Figura 59 muestra el porcentaje promedio anual de cambio en el uso de la energía en la industria manufacturera y el valor agregado del sector (output) entre los años 1973 y 1998. Todos los países experimentaron crecimiento en el valor agregado, sin embargo, el uso de la energía se redujo en varios de ellos, lo que indican reducciones significativas en la intensidad energética pura (actual/output).

Figura 59: Descomposición de los cambios en el consumo de energía para el sector manufacturero entre 1973 y 1998



Fuente: IEA, OECD, 2004

En general en cualquier planta industrial las medidas de mejoramiento del uso de la energía incluyen la utilización de dispositivos eléctricos eficientes, la incorporación de cogeneración y recuperación de vapor, el aprovechamiento del calor desperdiciado y el reciclaje de materiales. Adicionalmente a estas prácticas de aplicación generalizada en la industria, a continuación se detallan las opciones de eficiencia energética específicas para cada sector industrial.

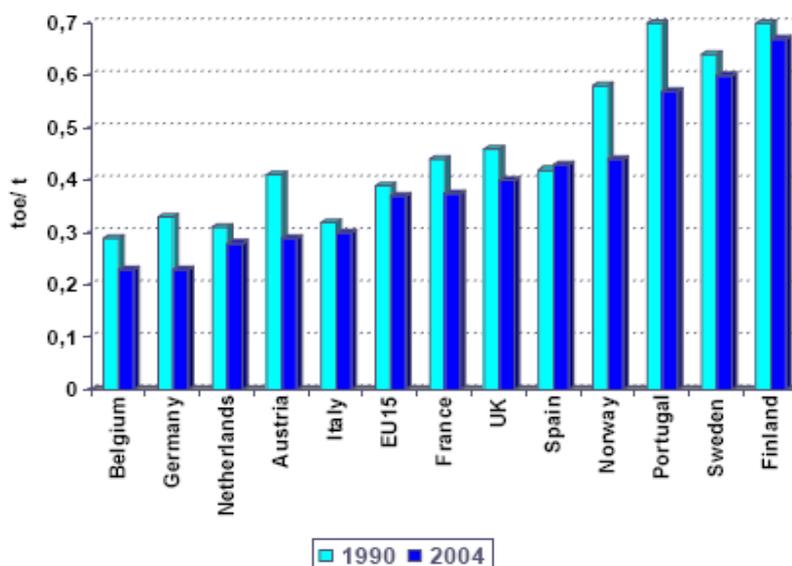
### 11.2.1 Papel y celulosa

La industria del papel ha desarrollado sistemas de cogeneración eficientes para la producción de vapor, agua caliente, y electricidad por medio de la quema de licores, cortezas, y otros desechos de la madera. Algunos países desarrollados han mejorado su eficiencia energética en un 26 % durante períodos de 12 años. En el país esta situación no ha sido diferente, dándose un gran impulso la cogeneración que va más allá del autoabastecimiento, es así como se construyen plantas cuyos excedentes energéticos son aportados al Sistema Interconectado Central.

La Figura 60 muestra la evolución de los consumos específicos de la industria del Papel y Celulosa, para un conjunto de economías europeas. En nuestro país, los consumos específicos de esta industria han decrecido desde 0,6 hasta valores en torno a 0,3 Tep/ton producida, en el período evaluado (ver Figura 19). Internacionalmente la mejora de los procesos ha permitido alcanzar rendimientos del orden de 0,2 Tep/ton.

De este modo, se estima que las medidas de eficiencia energética, sumada a las inversiones que se están realizando en este subsector impliquen mejoras en los rendimientos energéticos que permitan alcanzar consumos específicos del orden del 0,2 Tep/ton, así, en 15 años, el potencial de reducción anual alcanzaría al 2,2%.

Figura 60: Evolución de los consumos específicos para la industria del Papel y la Celulosa



Fuente: ADEME, 2007

## 11.2.2 Siderurgia

En la industria de la siderurgia, se han logrado cambios significativos durante las últimas décadas. La mayoría de las ganancias se han obtenido como resultado de la aplicación de tecnologías de recuperación de calor, aunque todavía se pierde aproximadamente un 40% del calor producido.

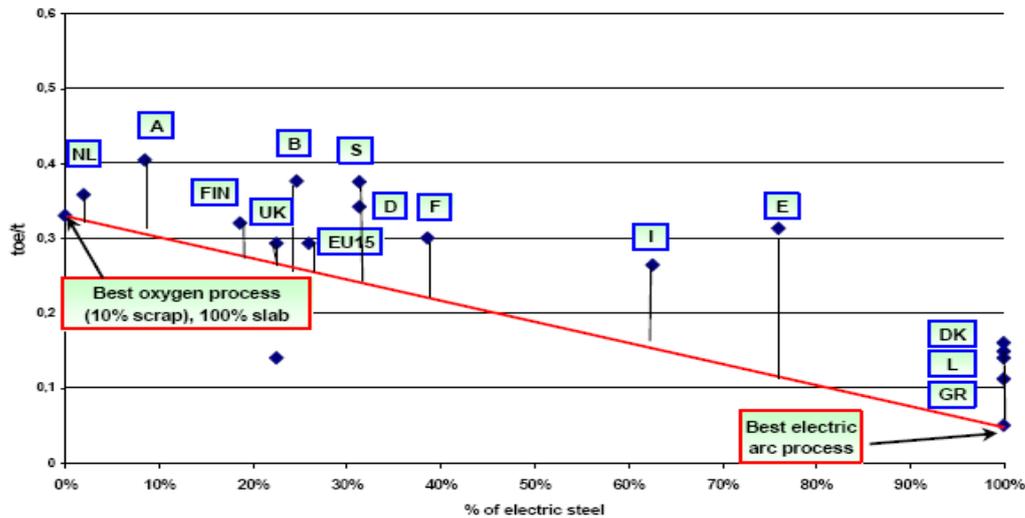
Dichos mejoramientos se han logrado en la producción de coque siderúrgico, la colada continua (reduciendo los requerimientos de calor) y el recocido continuo (operación después del temple). La operación de turbinas de recuperación de gas a altas presiones también permite la producción de electricidad haciendo uso de los gases superiores de los hornos que se utilizan durante la fabricación del acero. Se prevé que se pueden obtener más ganancias de eficiencia mediante el precalentamiento de desechos; un mejor uso del carbón y el oxígeno; y el reciclaje del coque en hornos.

Por otra parte, se debe considerar que hay 2 maneras diferentes de producir acero con distintos requerimientos energéticos: el proceso de reducción-oxidación que recibe mineral de hierro o pre-reducidos en los altos hornos. El segundo es el proceso eléctrico que es alimentado con chatarra de acero, la que es fundida en hornos eléctricos. El proceso integrado requiere 2 o 3 veces más energía que el proceso eléctrico<sup>77</sup>. Por lo tanto, cuando se compara el promedio de energía consumida por tonelada de acero producido entre países se debe tener en cuenta como este acero es producido. La Figura 61 muestra la comparación de consumo específico (Tep/tonacero) en función del porcentaje de acero producido por medio del proceso eléctrico.

---

<sup>77</sup> La diferencia en el consumo de energía depende de si se consideran los requerimientos de energía final o de energía primaria. El proceso eléctrico usa principalmente electricidad; el proceso de oxígeno se basa principalmente en coque. Por lo tanto, los resultados de la comparación dependerán de la manera en que la electricidad es convertida en Tep. En la Figura 61, la conversión es hecha en términos de la energía final en base al poder calorífico de la electricidad (ADEME, 2007)

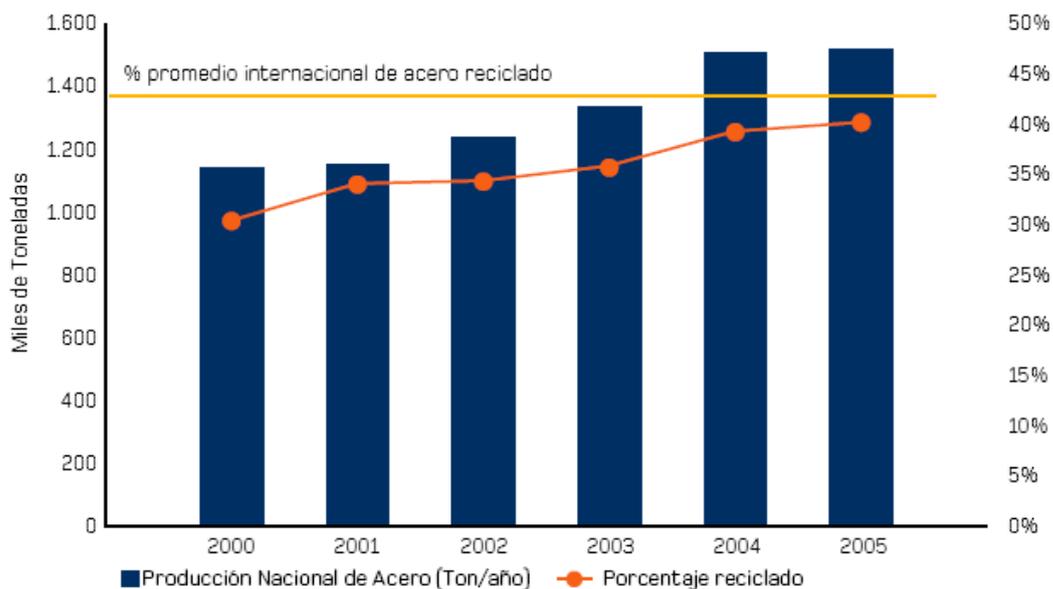
Figura 61: Evolución de los consumos específicos para la industria de la Siderurgia



Fuente: ADEME, 2007

En el caso de Chile, la producción de acero a partir del reciclaje de chatarra corresponde a alrededor de un 26% del total de la producción nacional al año 2006. En la Figura 62 es posible ver la situación del sector en los últimos años, en lo que a producción integrada y reciclaje de acero se refiere. Se puede apreciar que si bien en el periodo mostrado ha aumentado el porcentaje de chatarra reciclada, aun está por debajo del promedio mundial.

Figura 62: Producción y reciclaje de acero



Fuente: Gerdau Aza, 2006

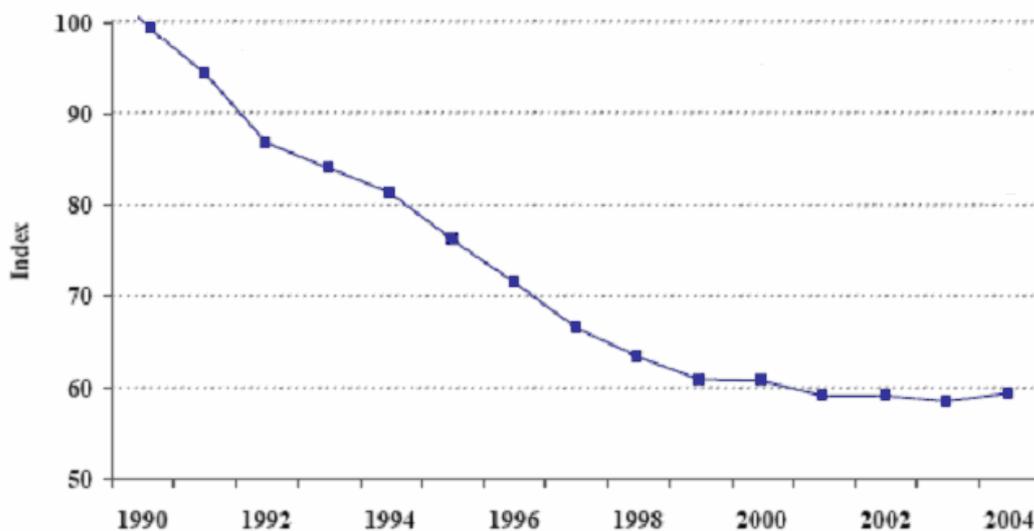
En la Figura 61 se aprecia lo que podría ser una meta para el consumo específico, dada una determinada distribución de la producción (acero eléctrico/acero total). Dicha meta definiría el potencial de ahorro para Chile. Como la participación del proceso eléctrico es del 26%, el consumo específico óptimo es de 0,27 Tep/ton, lo que significa un potencial de ahorro acumulado al año 15 de 7% anual.

### 11.2.3 Petroquímica

La industria petroquímica posee una alta intensidad energética debido a la fuente de sus materias primas –petróleo y gas natural- y por la energía utilizada para transformarlos en productos finales. Internacionalmente para la mejora en su eficiencia energética se han implementado rediseños en los procesos y una reducción en los desperdicios químicos, lográndose incrementos en la eficiencia energética del 2,6% anual.

En los países de EU – 15, la intensidad energética ha disminuido en un 40% entre los años 1990 y 2004, sin embargo, gran parte de esa disminución en la intensidad se debe a un cambio estructural hacia sectores menos energointensivos.

Figura 63: Evolución de la intensidad energética total en la industria petroquímica en IE - 15



Fuente: ADEME, 2007

A nivel nacional, a pesar de que éste no es uno de los sectores más energointensivos, se estima que una política energética que facilite la incorporación de las tecnologías de EE utilizadas por los países desarrollados permitirá obtener resultados similares a las de esos países.

### 11.2.4 Cemento

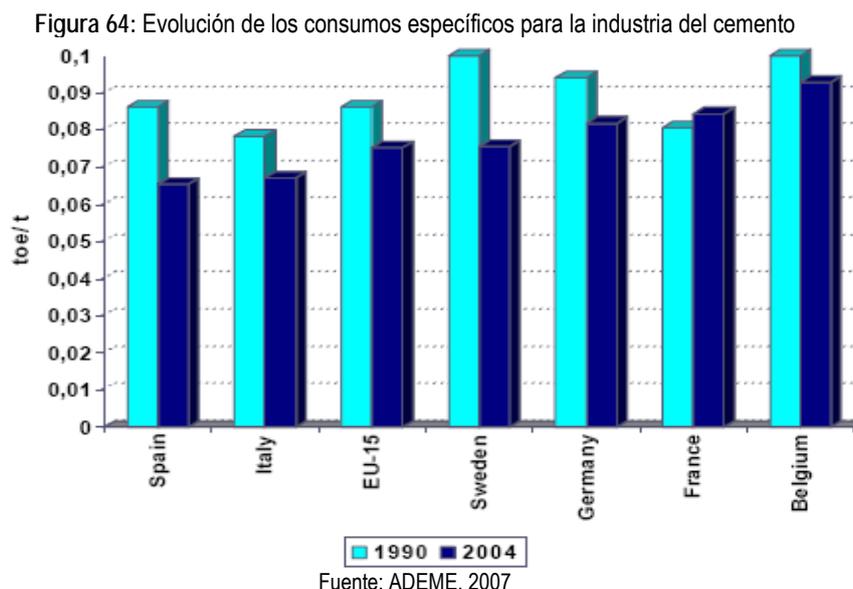
Los procesos que requieren mayores cantidades de energía en la industria cementera son aquellos vinculados a la producción de clinker, en los que, básicamente, el carbonato de calcio (caliza) con

distintos aditivos (sílices, escorias metalúrgicas, etc.) son calcinados para producir clinker de distintas características físico-químicas, los requerimientos de energía del proceso determinan que esta industria sea considerada como energointensiva.

Se pueden lograr reducciones en el uso de la energía mediante modificaciones al proceso, específicamente en la operación de los hornos. Por ejemplo, los nuevos hornos de proceso seco son más eficientes que los del proceso húmedo puesto que no se requiere energía adicional para eliminar la humedad. En un proceso seco, los gases de emisiones del horno se usan para precalcinarse la materia prima y evitar la presencia de agua. Estos procesos pueden usar un 50% menos de energía que uno convencional (húmedo). La industria nacional ya ha incorporado estas modificaciones.

El gráfico siguiente muestra la evolución de los consumos específicos para la industria del cemento en algunas economías europeas importantes. Tal como se analizó al calcular los indicadores, los consumos específicos de la industria del cemento nacional oscilan entre 0,07 y 0,09 Tep/ton de cemento producido (ver Figura 22). Dichos consumos específicos son similares a los estándares internacionales (ver Figura 64). No obstante lo anterior, la vinculación de algunas de las empresas cementeras nacionales con las principales empresas del mundo permite suponer que se puede alcanzar una meta de consumo específico de 0,06 Tep/ton en el período de 15 años, lo que significaría un ahorro acumulado al año 15 del 22%

Es importante destacar que a pesar que algunos países, como es el caso de Nueva Zelanda, puedan presentar consumos específicos del orden de 0,03 Tep/Ton (APEREC, 2001), no significa que esto se deba a implementación de medidas de eficiencia, si no que a la tendencia en dicho país a utilizar neumáticos o aceites residuales como combustibles que, dado que no son combustibles convencionales y, en muchos casos no comerciales, no siempre aparecen reportados como un consumo energético en los balances de energía, provocando una distorsión en los valores de consumo específico. De esta manera el caso de Nueva Zelanda no se consideró como una meta de rendimiento.



### 11.2.5 Industria azucarera

En la industria del azúcar, la importancia de sus consumos de calor la hacen atractiva para implementar sistemas de cogeneración y recuperación de calor, medidas que permitirían reducir sus consumos en un tercio en el período considerado.

Como potencial de ahorro alcanzable se considera que el consumo específico puede reducirse de 0,267 Tep/ton a 0,184 Tep/ton que es el consumo específico registrado en Bélgica para el año 1999, según el Ministerio de Economía de dicho país. Así, el ahorro acumulado en 15 años alcanza el 31% del consumo reportado en 2006.

### 11.2.6 Pesca

Para el ítem pesca, se estima que es posible obtener ahorros mediante la mejora de la operación de los motores de impulsión en los barcos, de los ciclos de calor en la fabricación de harina de pescado y de la mejora de bombas y motores menores. Se ha estimado que el potencial anual de ahorro en un periodo de 15 años es de 0,5%.

### 11.2.7 Industrias Varias

De manera general, la eficiencia energética en las plantas industriales puede ser mejorada a través del aprovechamiento de oportunidades del lado del uso final y de la conversión de la energía. A continuación se señalan técnicas que son aplicables a cualquiera de ellas.

- *Uso de motores eficientes:* En el Cuadro 26 es posible apreciar la estructura del parque de motores para el sector "Industria y Minas Varias". Por otro lado, en el Cuadro 27 se declara que el ahorro al año 10 alcanzará a 208,7 GWh (PRIEN, 2006). De este ahorro, se estima que el 84% corresponde a Industria varias, lo que significa que el ahorro para este sector es de 175,31 GWh/año. Esto corresponde al 0,325% del total del consumo para el año 2016. Si se considera que este ahorro porcentual se mantiene constante en el periodo, el ahorro acumulado en el periodo alcanzaría a 4,77% del consumo total de energía.
- *Uso de dispositivos eléctricos eficientes:* El uso de luminarias eficientes y la aplicación de programas como el "Energy Star<sup>78</sup>" han logrado disminución en el consumo de energía de computadores y equipos oficina. Se estima que asociado a la incorporación de equipos eficientes es posible alcanzar ahorros del orden de 1% anual del consumo total de energía.
- *Cogeneración y recuperación de vapor:* Las plantas de cogeneración hacen uso de aproximadamente el 80% del contenido calorífico de los combustibles. Existe una gran variedad de tecnologías para continuar mejorando el rendimiento global de la cogeneración.

---

<sup>78</sup> Programa de Eficiencia Energética lanzado por EPA (Environmental Protection Agency) para aumentar la eficiencia de computadores y equipos de oficina.

- **Utilización de calor desperdiciado:** Incluso en industrias donde se ha alcanzado un alto grado de conservación de energía, todavía existe un alto potencial para la recuperación de calor. Se estima que se pueden lograr incrementos de eficiencia de 2,5% anuales durante 15 años.
- **Reciclaje de materiales y re-uso:** El reciclaje de materiales con un alto contenido energético ha aumentado durante los últimos quince años en la mayoría en países industrializados. Los datos que se poseen respecto de las tasas de reciclaje son diversos. Por ejemplo, la tasa de producción de acero bruto, obtenido por el procesamiento de chatarra, es de un 43% a nivel mundial. En los países desarrollados, las tasas de reciclaje de metales no ferrosos es de 30% para el aluminio, 35% para el cobre y 25% para el zinc. El reciclaje de materiales puede proporcionar incrementos de eficiencia de un 0,9% anual.

En síntesis, de acuerdo a las técnicas citadas y a las tecnologías aplicables a cada actividad industrial se pueden señalar los siguientes potenciales de mejoramiento de la eficiencia.

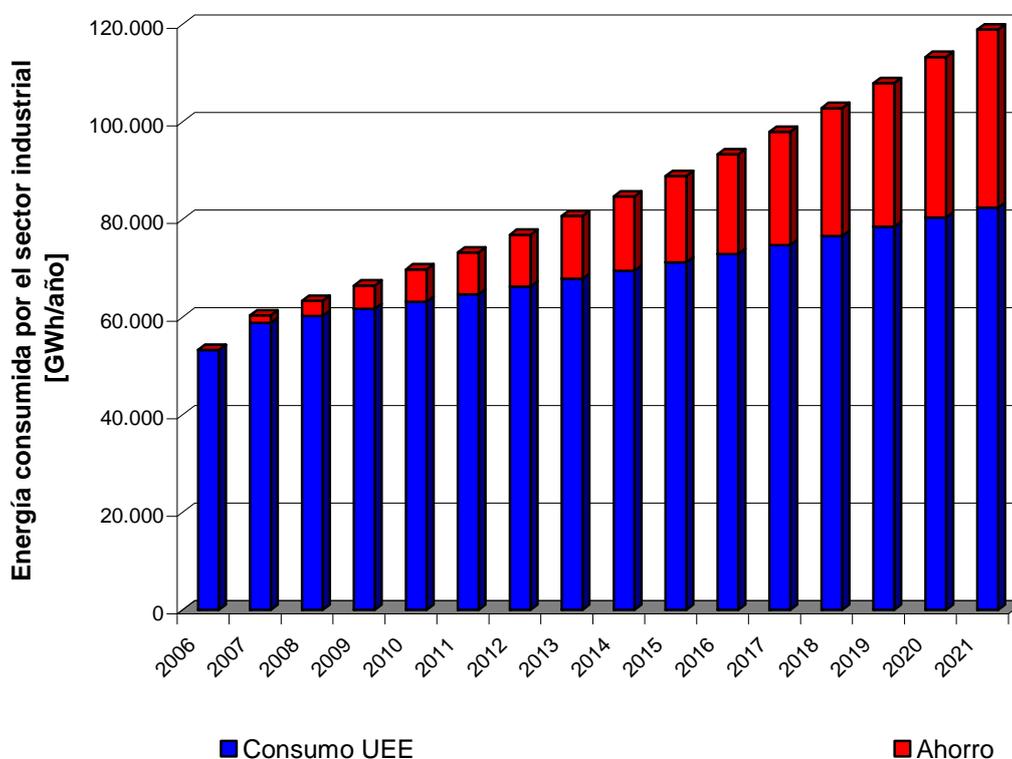
Cuadro 34: Potencial de mejoramiento de eficiencia para la industria

Industria	Potencial de reducción de EE anual (%)
Papel y Celulosa	2,2
Siderurgia	0,5
Petroquímica	2,6
Cemento	1,6
Azúcar	2,5
Pesca	0,5
Industrias Varias	2,9

Fuente: Elaboración propia

Con las medidas enunciadas es posible obtener ahorros del 30,7%, lo que equivale a 36.472 GWh/año. La evolución del consumo se aprecia en la figura siguiente.

Figura 65: Evolución del consumo de energía en el sector industrial



Fuente: Elaboración propia

### 11.3 Sector Minero.

Dado que los sectores Industrial y Minero poseen similitudes con respecto a sus usos energéticos, las medidas de mejoramiento asociadas al sector industrial así como los potenciales calculados mantienen su validez en el sector minero. De manera análoga las medidas a ser adoptadas para mejorar los usos energéticos en el sector minero se concentran en:

- Uso de dispositivos eléctricos eficientes
- Cogeneración y recuperación de vapor
- Utilización de calor desperdiciado.
- Reciclaje de materiales y re-uso.

#### 11.3.1 Subsector Cobre y otros minerales no ferrosos

En el subsector cobre los potenciales observados asociado a los procesos de producción de cátodos por medio de pirometalurgia alcanzan un 15% en 10 años. En el caso de Chile, tal como se ha observado, existen una serie de faenas relativamente nuevas para las cuales los potenciales de mejora son bastante más reducidos debido a que ya han incorporado muchas de las nuevas

tecnologías. De esta manera para estas faenas que se relacionan directamente con procesos hidrometalúrgicos se estima un potencial de mejoramiento significativamente inferior de un 0,5% anual.

Las mejoras se asocian principalmente a la incorporación de equipos eficientes como motores eléctricos, iluminación, procesos de concentración y refinación, entre otros. Para el caso específico de la introducción de motores eficientes en el proceso, según PRIEN, 2006 el potencial de ahorro corresponde a 622,5 GWh/año (ver Cuadro 29), lo que significa un 1,6% del consumo total proyectado para el año 2016. Así, suponiendo ahorros constantes a lo largo del periodo, el ahorro total acumulado al año 2021 correspondería a un 14,7% lo que se suma a los ahorros obtenidos por mejoras en los procesos.

### 11.3.2 Salitre

Dado que no se dispone de referencias específicas para esta industria, se ha asimilado sus potenciales de mejora a aquellos que son generales para la industria y que se refieren a la recuperación de calor, que en la sección 11.2.7 se estimaron en 2,7% al año, y la introducción de equipos energéticamente eficientes, lo que se estimó en un 0,5% al año en la misma sección. De esta manera es posible esperar tasas de mejoramiento del 3,2%.

### 11.3.3 Hierro

En la industria del hierro además de las posibilidades de recuperación de calor y el uso de equipos eficientes es posible aumentar el uso de material de reciclado de manera que los potenciales de mejoramiento pueden ser de hasta un 4,1%.

En síntesis el cuadro siguiente establece los potenciales de mejoramiento para la minería nacional.

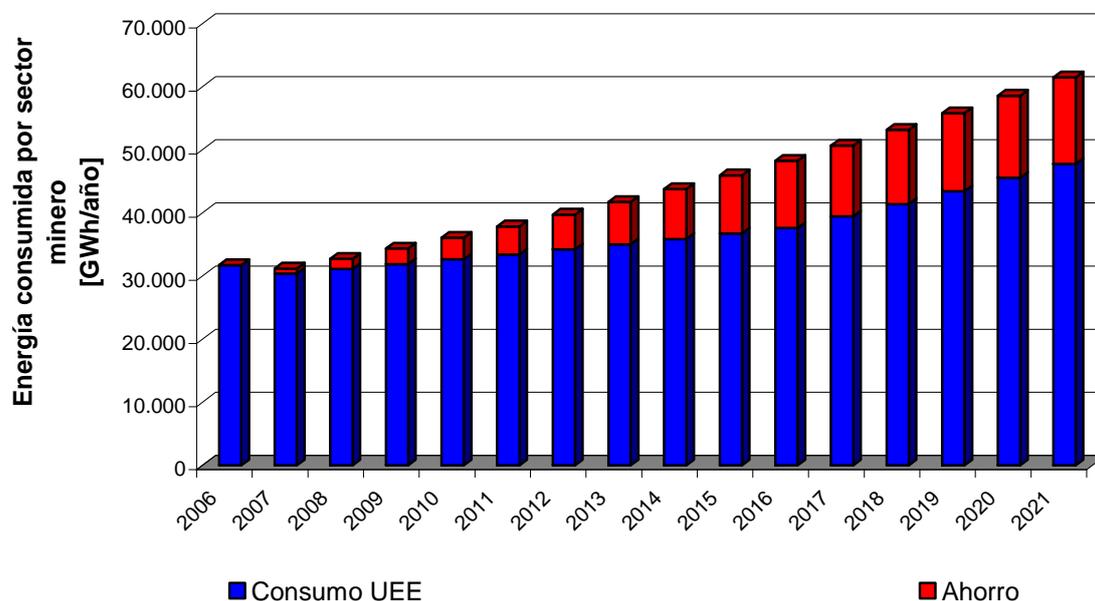
Cuadro 35: Potencial de mejoramiento de eficiencia para la minería

Industria	Potencial de reducción de EE anual (%)
Cobre	2,2
Salitre	3,2
Hierro	3,2
Minas Varias	3,2

Fuente: Elaboración propia

Considerando las medidas y los potenciales mostrados, el sector minero es capaz de presentar ahorros de un 22%, es decir, 13.692 GWh/año como se observa en la Figura 66.

Figura 66: Evolución del consumo en el sector minero



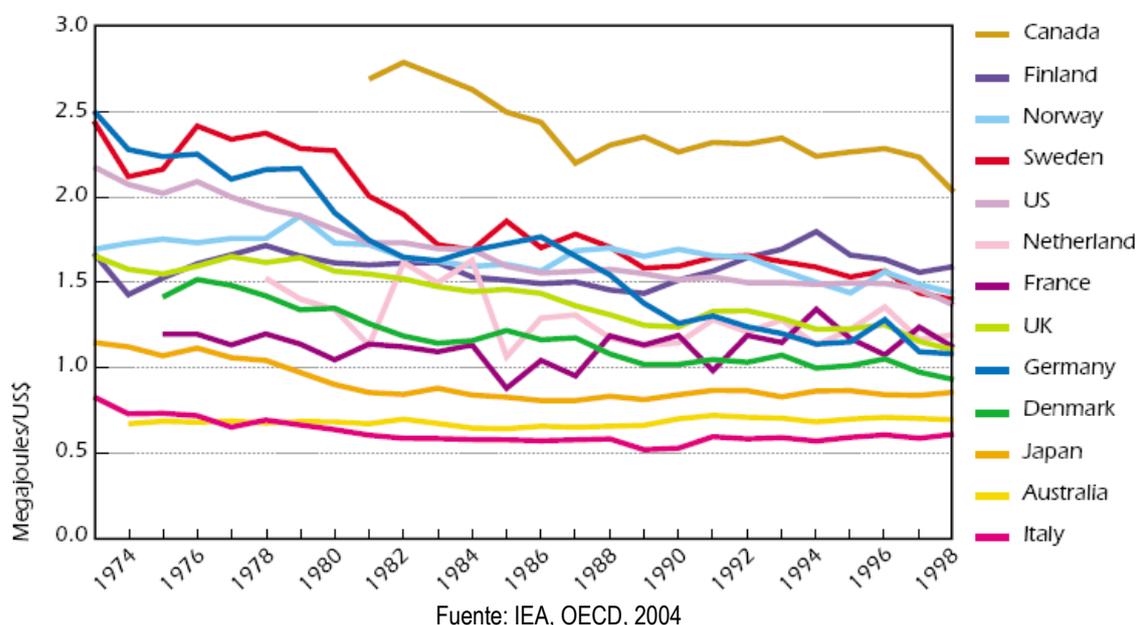
Fuente: Elaboración propia

#### 11.4 Sector Servicios (Comercial y público)

En el sector servicios, el consumo de energía ha crecido en un 160% en el periodo. La forma de energía más usada en el sector comercial y público es la electricidad (64,3% del total de energía consumida en el año 2006), lo que es consistente con la situación a nivel internacional..

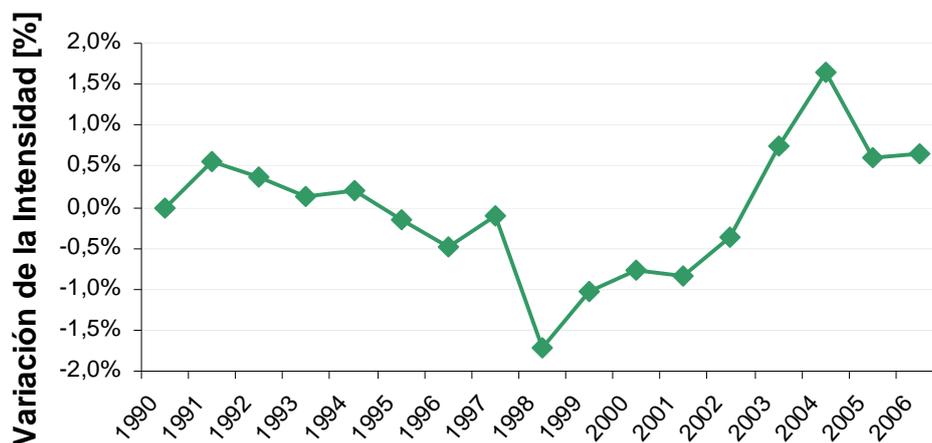
En la Figura 67 es posible observar la evolución de la intensidad energética del sector servicios para algunas economías importantes a nivel mundial, en el periodo 1974 – 1998. Se puede apreciar una tendencia a la baja en la mayoría de los países.

Figura 67: Evolución de la Intensidad Energética en el sector servicios en algunas economías importantes<sup>79</sup>



En lo que respecta a Chile, la evolución de la intensidad para el periodo 1990 – 2006, descontando los efectos estructurales para el sector servicios se muestra en la Figura 68, donde es posible notar que este indicador ha oscilado en torno a cero en la primera parte del periodo, a partir del año 1998 se aprecia un aumento sostenido de la intensidad energética.

Figura 68: Evolución de la intensidad energética en el sector servicios en Chile

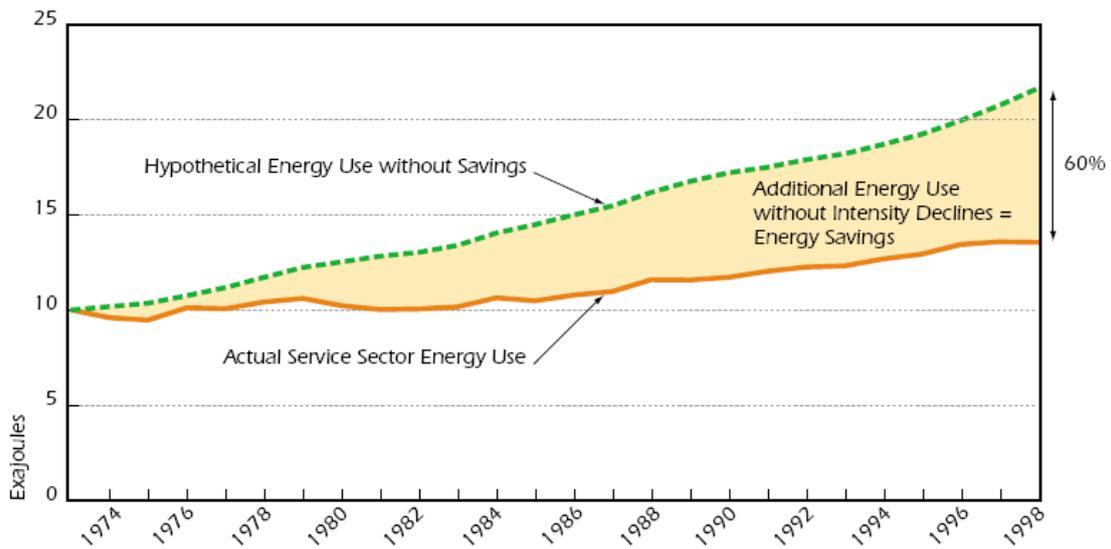


Fuente: Elaboración propia

<sup>79</sup> Se entiende como sector servicios (o Comercial y Público) el conformado por actividades que no son llevadas a cabo en hogares, industrias o predios agrícolas. Es decir, comprende actividades desarrolladas en oficinas, hospitales, escuelas, tiendas, almacenes, etc. Es importante destacar que no está contabilizado el comportamiento de los Centros de Transformación.

Dado que la Intensidad Energética del sector servicios en Chile no ha mostrado una tendencia a la baja como en otros países del mundo, es posible asumir que el país se encuentra en una situación similar a la que existía en los países desarrollados cuando comenzaron sus políticas de Uso Eficiente de Energía. En la Figura 69 es posible apreciar que los países analizados por la IEA mostraron una baja de 60% de su consumo de energía gracias a la introducción de medidas de eficiencia, por lo tanto, para el caso de Chile se supone que en igual periodo (es decir 28 años), el país podría reducir su consumo en una tasa anual de 3,2%.

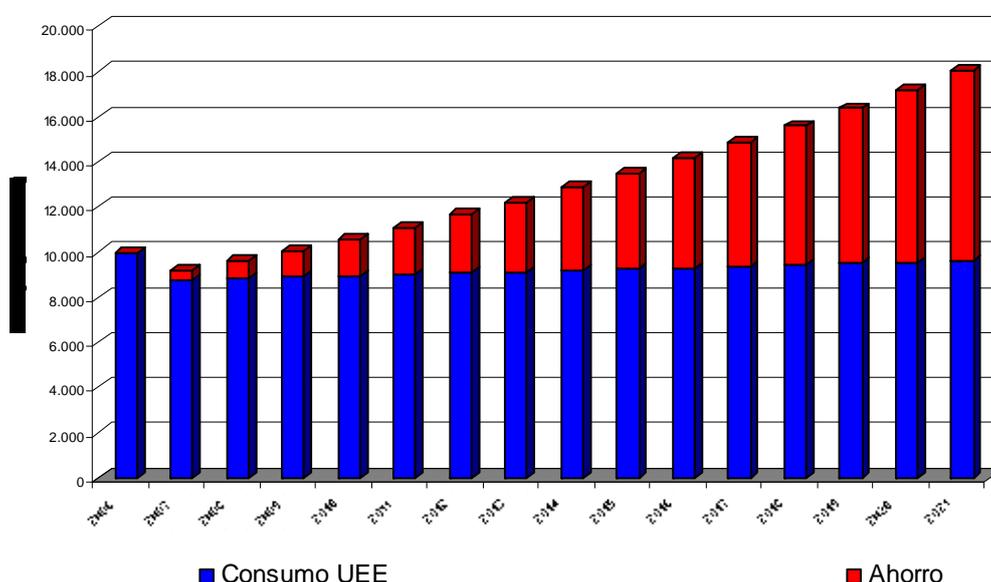
Figura 69: Evolución del consumo energético en algunos países en un escenario eficiente y sin él



Fuente: IEA, OECD, 2004

En virtud de lo anterior es posible calcular el ahorro estimado por el uso eficiente de la energía que asciende a 8.407 GWh al año 2021, lo que significa un ahorro del 47%. La evolución prevista para Chile, en el caso del sector servicios se muestra en la Figura 70.

Figura 70: Evolución del consumo en el sector servicios



Fuente: Elaboración propia

## 11.5 Sector Transporte

### 11.5.1 Sector Caminero

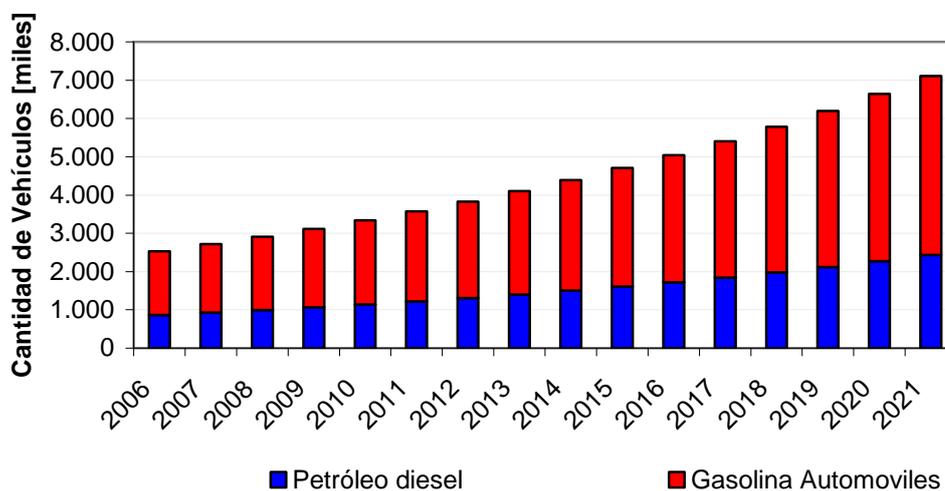
En los últimos años, el sistema de transporte chileno ha experimentado un enorme crecimiento. Mientras, entre los años 1985 y 1998, la economía se creció 2,5 veces (7,4% por año), el sector transporte creció más de 3,5 veces (sobre el 10% por año). Entre 1977 y 1991, los automóviles incrementaron su participación en lo que a pasajeros-km transportados se refiere en más de un 60%, mientras que los buses tuvieron una caída de su participación en un 27%, estos desplazamientos se produjeron debido al intenso proceso de urbanización (O’Ryan et al, 2002).

La participación del sector transporte en el consumo total de energía, a lo largo del periodo, promedia el 25%. Sin embargo, a pesar del gran potencial de ahorro de energía que representa este sector, no se han lanzado políticas que incentiven el UEE. Lo anterior no debe llevarnos a ignorar que las políticas de descontaminación han tenido, y pueden seguir teniendo, un impacto sobre el consumo del sector.

Para poder estimar el potencial de ahorro por la introducción de vehículos más eficientes es necesario conocer el comportamiento del parque. Según estimaciones del Ministerio de Hacienda, Chile será, en el año 2020 como Portugal era en el año 2006. En la actualidad en Chile hay 0,14 vehículos por habitante, y en Portugal hay 0,39 vehículos por habitante, lo que supondría que para

alcanzar dicha meta, el parque debería experimentar un crecimiento 8,34%/año<sup>80</sup>. En la Figura 71 se ilustra dicho crecimiento.

Figura 71: Evolución del parque vehicular estimada para Chile

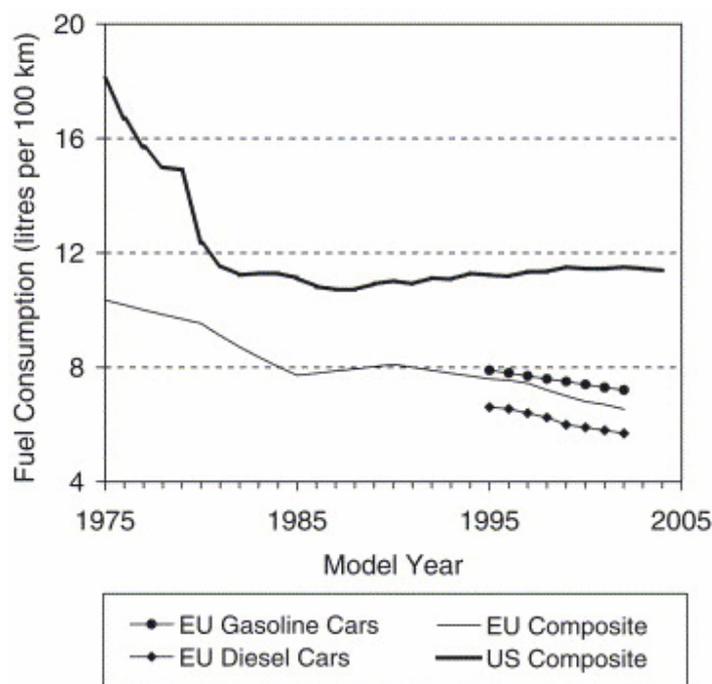


Fuente: Elaboración propia

La tendencia internacional ha sido reducir constantemente el consumo específico de los nuevos vehículos que se introducen al mercado, como es posible observar en la Figura 72

<sup>80</sup> Está considerado el crecimiento de la población chilena a la hora de realizar el cálculo de la tasa de crecimiento del parque vehicular para llegar a ser como Portugal es ahora.

Figura 72: Evolución del consumo específico de vehículos particulares



Fuente: IEA (International Energy Agency) (2001) and Martec (2002)

Además de la antigüedad y características físicas del vehículo (peso, capacidad del motor, etc.), influye en la eficiencia el tipo de combustible, como se desprende de la observación de la Figura 72. Para tener una idea de lo que ha ocurrido con respecto a este punto en Chile se muestra el Cuadro 36. En el se puede apreciar que lentamente ha crecido la participación del diesel en la canasta energética del sector. Si bien, esta cifra debe ser tratada con precaución dado que el sector "Transporte caminero" no sólo considera el transporte de pasajeros, si no que también el transporte de carga, puede servir como indicador que, dado los actuales precios de los combustibles y el mayor rendimiento de los motores diesel, algunos automovilistas estén considerando el tipo de combustible a la hora de elegir un vehículo.

Cuadro 36: Energéticos utilizados por el subsector transporte caminero

	Transporte caminero							
	1990		1995		2000		2006	
Diesel [Tcal]	11.946	44%	18.881	45%	26.433	50%	31.649	57%
Gasolina [Tcal]	14.894	55%	22.498	54%	26.659	50%	23.230	42%
Otros [Tcal]	136	1%	150	0%	200	0%	620	1%
Total [Tcal]	26.976	100%	41.529	100%	53.292	100%	55.499	100%

Fuente: Balance nacional de Energía, CNE

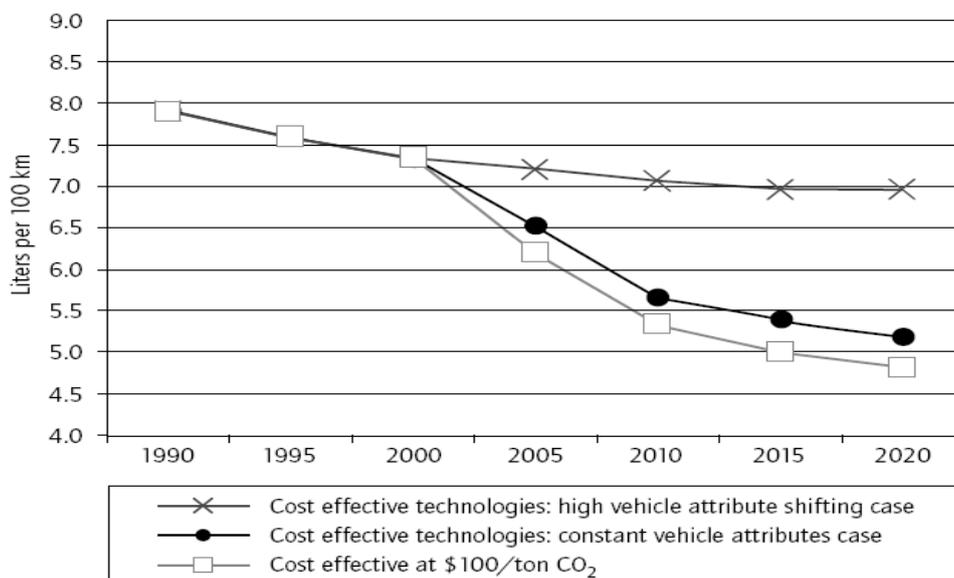
Las reducciones en el consumo específico de energía (ya sea por pasajeros-km y tonelada/km) se pueden alcanzar introduciendo cambios en las prácticas de mantenimiento, en el diseño del cuerpo del vehículo, motores más eficientes y en las prácticas de operación.

- **Mantenimiento de vehículos:** la verificación frecuente de la presión de los neumáticos, la alineación de las ruedas y el afinamiento del motor permiten ahorrar energía. Estudios en diferentes tipos de automóviles demuestran que se obtienen ahorros en el consumo de combustible del 2 al 10%, una vez que se realiza un afinamiento (ello es más relevante en el caso de los vehículos de carga, de transporte público y en los taxis).
- **Peso del vehículo:** El peso del vehículo se puede reducir por medio del uso de materiales avanzados, mejorando el diseño de los componentes y reduciendo el tamaño de los autos y de sus motores. El potencial técnico para lograr reducciones de peso sin comprometer el confort, la seguridad, y el rendimiento del auto se encuentra en el rango del 30 al 50% para la mayoría de los distintos tipos de vehículos.
- **Resistencia al aire:** La resistencia al aire constituye aproximadamente entre un tercio y la mitad de la energía requerida para mover un vehículo. Los cambios en el diseño aerodinámico de los autos permiten una reducción de intensidad energética del 15% al 30%.
- **Renovación del parque:** Los cambios en la tecnología de motores a gasolina han proporcionado continuos mejoramientos en la eficiencia energética. Reducciones en la intensidad energética del 15 al 30% se podrían lograr con la tecnología actual. Por otro lado, en lo que a motores diesel se refiere, en el caso de camiones se puede alcanzar un 40%. El potencial de futuros ahorros energéticos es probablemente del 10 al 20% al largo plazo.

Para estimar el potencial de ahorro por renovación del parque se consideró que al año 2006 el consumo específico del parque en general era de 10,06 km/l (9,95 lt/100 km). Sin embargo, se estima que el rendimiento de los vehículos nuevos ingresados al país se moverá como en Alemania, considerando que el Gobierno mantendrá estrictos estándares para el ingreso de vehículos al país, y que el tamaño y peso promedio de los vehículos no aumentará (escenario 2), se espera que el consumo específico evolucione según se muestra en la Figura 73, donde es posible observar 3 escenarios definidos por la IEA:

- Escenario 1: Disminución del consumo específico condicionada por la decisión de compra de los automovilistas.
- Escenario 2: Se considera que durante el periodo se mantiene constante el tamaño y peso promedio de los vehículos comercializados. Si el tamaño y el peso van aumentando, este escenario se aproxima al escenario 1.
- Escenario 3: Se considera como incentivo a la venta de vehículos eficientes la venta de bonos de carbono (US\$ 100 por tonelada de CO<sub>2</sub>).

Figura 73: Evolución del consumo específico en vehículos nuevos



Fuente: IEA, OECD, 2001

Por otro lado, el transporte de carga corresponde al 50% del consumo de energía del sector caminero<sup>81</sup>. Según la IEA, el potencial de ahorro para el sector transporte de carga terrestre (camiones pesados) es de entre 15% y 30%<sup>82</sup> para un periodo de 10 a 20 años. Estos ahorros dependen de la mejoras en motores, peso de los vehículos con y sin carga y la resistencia al aire.

Para estimar el potencial de ahorro del sector transporte en Chile se consideró que en un horizonte de 15 años se podría disminuir en un 20% el consumo para transporte de carga, lo que significa una tasa anual de 1,5%.

En resumen, el potencial de ahorro acumulado para el transporte caminero se estima en un 12% (una tasa de crecimiento del ahorro de 0,85% anual) al año 2021, lo que equivale a 15.396 GWh/año.

### 11.5.2 Sector Aéreo

Se estima que la intensidad del uso del combustible en los aviones de pasajeros mejorará en un 2,5% anual en 10 años. Estos mejoramientos se podrían alcanzar al introducir conceptos de nuevos motores. Como ejemplos se puede mencionar el uso de intercambiadores de calor ultra livianos para la refrigeración y recuperar el calor de las emisiones del motor. Si estas tecnologías se aplicaran a la aviación, pueden proveer, en teoría, ahorros energéticos del 20 al 30%.

<sup>81</sup> Estimación realizada en base a estudio del Dictuc (2007) y consumo de energía del subsector para el año 2006 según el BNE de la CNE. Por otro lado, esto es consistente con lo observado en Europa y Estados Unidos (IEA, OECD, 2001)

<sup>82</sup> Según United Kingdom Motor Transport Magazine, en el año 1993 se evaluó 11 modelos de camiones del mismo tonelaje (28 tons.) y se detectaron diferencias de hasta un 22% en los rendimientos.

### 11.5.3 Sector marítimo

La eficiencia energética de los motores marítimos existentes puede alcanzar el 50% en 15 años. Con respecto al desarrollo tecnológico en esta área, sólo se anticipan pequeñas mejoras en el futuro próximo (5 a 10% en ahorros de combustibles).

En resumen, considerando constante los kilómetros recorridos por los distintos tipos de vehículos camineros<sup>83</sup>, el ahorro proviene de la renovación del parque, a lo que se agrega un ahorro extra del 5% debido a la correcta mantención y conducción del vehículo. A ello se agrega el potencial de ahorro para el transporte de carga, del transporte marítimo, ferroviario y aéreo, obteniéndose un ahorro total, al año 2021, de más de 32 mil GWh como se detalla en el cuadro siguiente, logrando con esto tener una evolución en el consumo para el sector como la que se muestra en la Figura 74.

Cuadro 37: Situación energética al fin del periodo (año 2021)

	Consumo caso base [GWh/año]	Consumo con EE [GWh/año]	Ahorro [GWh/año]	Porcentaje de ahorro
Caminero	125.595	110.199	15.396	12,3%
Ferroviano	804	603	201	25,0%
Marítimo	25.884	12.942	12.942	50,0%
Aéreo	15.285	11.464	3.821	25,0%
<b>Total</b>	<b>167.568</b>	<b>135.208</b>	<b>32.360</b>	<b>19,3%</b>

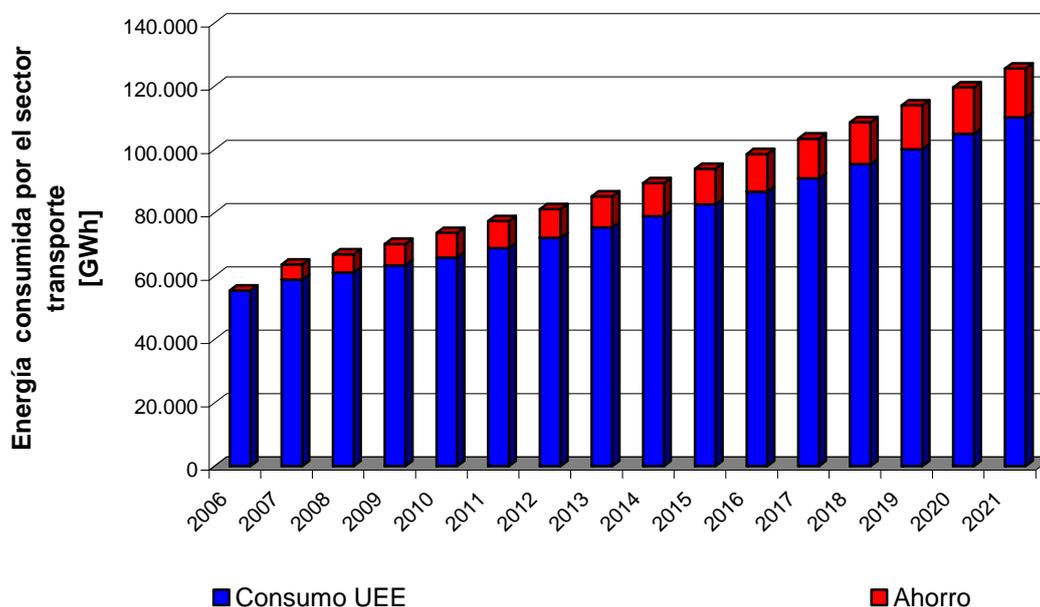
Fuente: Elaboración propia

<sup>83</sup> Para realizar los cálculos se supone que los kilómetros anuales recorridos por vehículo son constantes. Esta suposición se sustenta en el hecho de que el alto precio de los combustibles y el de los peajes constituyen una barrera para el crecimiento de este valor. Los valores considerados por tipo de vehículo son:

Categoría	Promedio km/vehículo
Vehículos Particulares	14.493
Vehículos Alquiler	42.174
Taxis colectivos	
Vehículos Comerciales	14.571
Camiones Livianos	37.121
Camiones Medianos	
Motos	12.741
Taxis colectivos	42.174
Camiones Pesados	74.459

Fuente: Dictuc, 2007

Figura 74: Evolución del consumo en transporte con UEE



Fuente: Elaboración propia

## 11.6 Sector Residencial

De manera análoga a los sectores comercial y público, en el sector residencial también se distinguen algunas actividades con un alto potencial para lograr mejoras en el uso de la energía. Las de mayor interés para este estudio son:

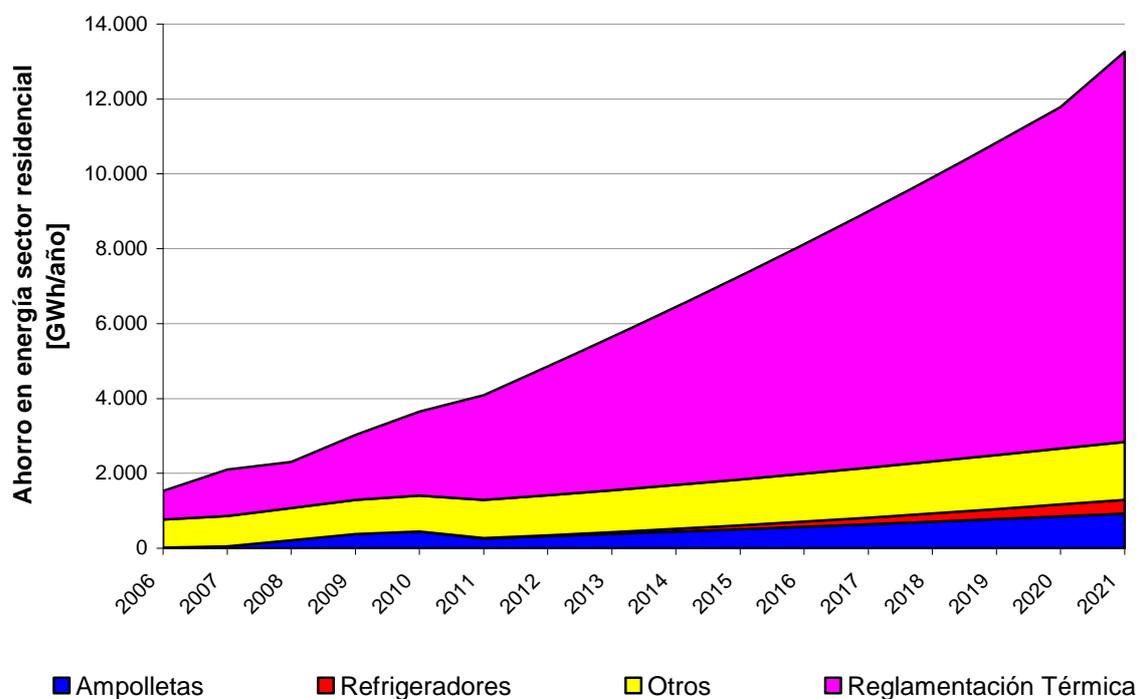
- El acondicionamiento térmico de ambientes (Calefacción y aire acondicionado)
- Construcción de mayor calidad térmica
- Calentamiento de agua
- Iluminación
- Cocina
- Artefactos eléctricos

Para el caso de la implementación de una política que impulse el uso de luminarias eficientes, tal como se detalló en 10.4, el ahorro porcentual sobre el consumo proyectado para el periodo obtenido se muestra en la Figura 54. Dada la forma de la curva, los ahorros para este ítem serán considerados año a año, y no como un porcentaje acumulado al final del periodo y con una tasa anual de crecimiento.

En la Figura 75 se muestra la energía ahorrada anualmente, según cada medida adoptada. Es importante mencionar que las singularidades observadas en los 2008 y 2011 corresponden a el

programa de promoción del uso de luminarias eficientes y a la introducción de una nueva Reglamentación Térmica más exigente respectivamente.

Figura 75: Potencial de ahorro para el sector residencial

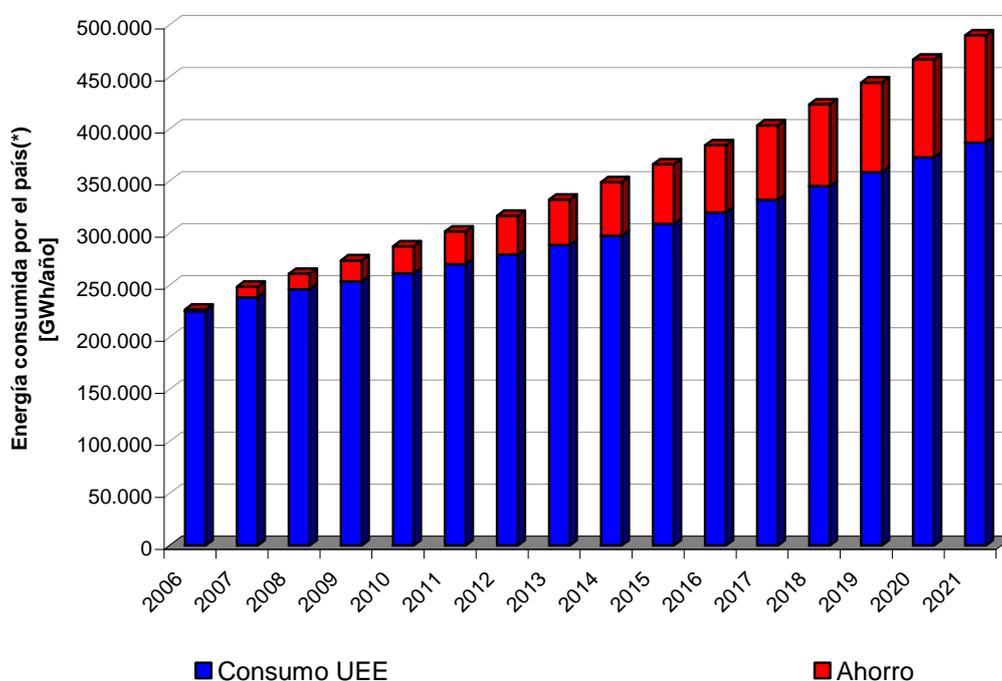


Fuente: Elaboración propia

## 12 Resultados finales

En resumen, puede decirse que al final del periodo, el consumo crecerá a una tasa de 4,97% anualmente en el escenario base, alcanzando los 679.229 GWh/año al año 2021. Sin embargo, como se dejó fuera del análisis los centros de transformación, se considerará que en el caso base el consumo total alcanza los 489.812 GWh/año. En el escenario eficiente, el consumo crecerá a una tasa promedio de 3,61%, lo que permitirá que el consumo al final del periodo será de 392.249 GWh/año, representando una disminución de 20,98% (102.751 GWh/año) en el consumo con respecto a la línea base.

Figura 76: Evolución del consumo energético a nivel país

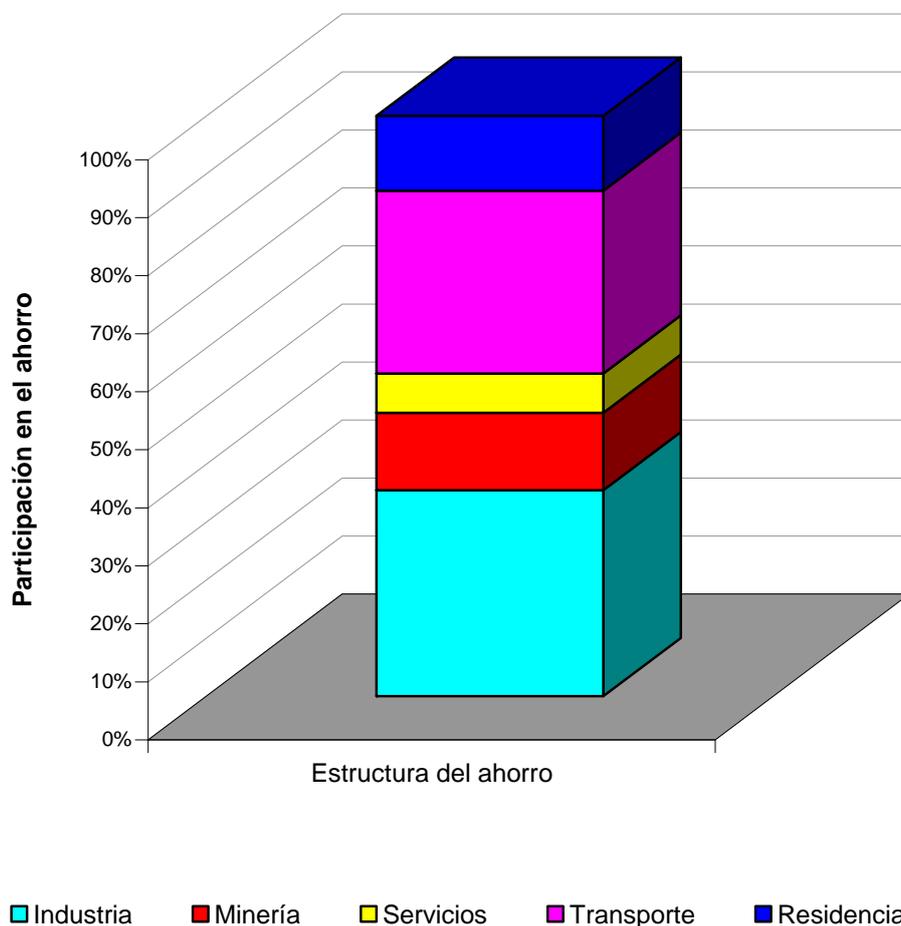


Fuente: Elaboración propia

(\*) Exceptuando el consumo de los centros de transformación.

En la Figura 77 es posible apreciar la participación de cada sector de la economía en el ahorro alcanzado en el año 2021. De la observación de la figura es fácil notar que los principales actores en lo que ahorro se refiere son el sector transporte y el sector industrial.

Figura 77: Composición del ahorro al año 2021



Fuente: Elaboración propia

Se estima necesario incluir algunos comentarios respecto de los resultados del presente informe y los resultados mostrados en “Estimación del potencial de ahorro de energía, mediante mejoramientos de la eficiencia energética de los distintos sectores del consumo en Chile” del año 2004:

- *Diferencias en la información económica:* al realizar Santiago Consultores las estimaciones de potencial y cálculo de indicadores en el año 2004, la información económica publicada por el Banco Central correspondía en el caso de las series de 1990 a 1995 a millones de pesos de 1986 y para las series de 1996 a 2003, a millones de pesos de 1996. Por el contrario, para el estudio actual se encontraba disponible la serie en millones de pesos de 2003, por lo tanto, toda la información económica en el actual informe está expresada en MM\$ de 2003 y el informe de 2004 en MM\$ de 1996, por lo tanto, los indicadores contruidos a partir de bases distintas no son directamente comparables.

- *Diferencias en el enfoque del cálculo de potenciales:* En el informe de Santiago Consultores, el enfoque que se da al cálculo del potencial es situarse en 1990 y observar que hubiese ocurrido con la evolución de la demanda energética si se hubiesen implementado decididas políticas de EE en ese año. En el informe actual se estima que ocurrirá desde 2007 en adelante de aplicarse ciertas medidas mencionadas. Esta diferencia de enfoque determina obviamente valores absolutos de ahorro muy diferentes

Por otro lado, es importante mencionar que cuando se realizó el informe de Santiago Consultores no existían los problemas de abastecimiento de gas natural que hoy tiene el país. En un escenario de escasez del mencionado combustible, su reemplazo por petróleo, leña u otros combustibles menos eficientes podría interpretarse equivocadamente como un deterioro de la EE, lo que evidentemente sería conceptualmente un error. En los últimos años, esta sustitución incide en el indicador intensidad energética haciéndolo aumentar, efecto en nada relacionado a una mala política de eficiencia energética.

## 13 Bibliografía

- ✦ Asian Pacific Energy Research Centre – APERC -, 2006, “Apec: Energy Statistics 2004”. Tokyo, Japón.
- ✦ Asian Pacific Energy Research Centre – APERC -, 2007, “Apec Energy Overview 2004”. Tokyo, Japón.
- ✦ World Energy Council – WEC -, 2004, “Energy Efficiency: A Worldwide Review. Indicators, Policies, Evaluation”. Londres, Inglaterra.
- ✦ World Resources Institute – WRI – EarthTrends Environmental Information, <http://earthtrends.wri.org>
- ✦ ODYSSEE - Energy Efficiency Indicator in Europe, <http://www.odyssee-indicators.org>
- ✦ Asian Pacific Energy Research Centre – APERC -, 2007, “A Quest for Energy Security in the 21<sup>st</sup> Century – Resources and Constraints”. Tokyo, Japón.
- ✦ Cornillie, Jan; Fankhauser, Samuel, “The energy intensity of transition countries”, Energy Economics #26, Mayo 2004, páginas 283-295.
- ✦ International Energy Agency – IEA -, 2004, “Oil Crises and Climate Challenges: 30 years of Energy use in IEA Countries”. París, Francia.
- ✦ Asian Pacific Energy Research Centre – APERC -, 2006, “Apec: Energy Statistics 2004”. Tokyo, Japón.
- ✦ Asian Pacific Energy Research Centre – APERC -, 2007, “Apec Energy Overview 2004”. Tokyo, Japón.
- ✦ World Energy Council – WEC -, 2004, “Energy Efficiency: A Worldwide Review. Indicators, Policies, Evaluation”. Londres, Inglaterra.
- ✦ World Economic Forum, 2002, “2002 Environmental Sustainability Index: An Initiative of the Global Leaders of Tomorrow Environment Task Force”.
- ✦ Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2001, “Competitiveness, The Business of Growth, 2001 Report, Economic and Social Progress in Latin America”, Washington D.C.
- ✦ IEA, 2003, International Energy Outlook.
- ✦ Mallika Nanduri, 1998, An assessment of Energy Intensity indicators and their role as policy making tools, Concordia University, Canada.
- ✦ Japan Energy Conservation Handbook 2002 / 2003, The Energy Conservation Center of Japan
- ✦ Comisión Nacional de Energía, 2002, Índices de Eficiencia Energética en Chile, Tendencias en el Sector Industrial y Minero, 1990 –1999.
- ✦ Comisión Nacional de Energía, 1993, Estimación del Potencial de Ahorro de Energía Eléctrica en el Sector Industrial y Minero.

- ✦ Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica (GTZ), 2003, Estudio de las Relaciones entre la Eficiencia Energética y el Desarrollo Económico, preparado por el Programa de Estudios e Investigaciones en Energía, Instituto de Asuntos Públicos Universidad de Chile.
- ✦ Cornillie, Jan; Franfhauser, Samuel, 2002, The energy intensity of transition countries, Working paper N° 72, European Bank.
- ✦ Watson R., Zinyowera, M., Moss, R., Dokken, D., 1996, Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific - Technical Analyses. Cambridge University Press.
- ✦ Estudios Económicos estadísticos del Banco Central, marzo de 2007, Empalme del PIB y de los componentes del Gasto: Series Anuales y Trimestrales 1986 – 2002, Base 2003. Banco Central
- ✦ El papel de la Legislación y la regulación en las políticas de uso eficiente de la energía en la Unión Europea y sus Estados Miembros. CEPAL, abril de 2001
- ✦ Simulación Operacional de un Programa de Etiquetado de Eficiencia Energética para Artefactos Eléctricos, Comisión Nacional de Energía, febrero de 2005
- ✦ 30 years of Energy Use in IEA countries. International Energy Agency IEA y Organisation for Economic Co-operation and Development OECD, 2004
- ✦ 2005 Reporte de sustentabilidad, Gerdau Aza, 2006
- ✦ Cool Appliances, Policy Strategies for Energy Efficient Homes, IEA 2003.
- ✦ Gestion de la Demande d'Énergie » dans le Cadre des Efforts a accomplir par la Belgique pour réduire ses Émissions de Gaz a Effet de Serre; Ministerio de Asuntos Económicos, Bélgica; 31 de mayo de 2003
- ✦ Panel "Impactos y oportunidades de la nueva política habitacional de inclusión social", Arq. Mario Grandón, Corporación Habitacional de la Cámara Chilena de la Construcción, Enero 2007.
- ✦ Programa de Inversión Pública para Fomentar el Reacondicionamiento Térmico del Parque Construido de Viviendas, Informe Final Primera Etapa: Preinversional para el Reacondicionamiento Térmico del Parque de Viviendas Existentes; Ambiente Consultores, PRIEN, 2007

## 14 Glosario de Términos Económicos

### Administraciones públicas como productores de otros bienes y servicios

Considera los departamentos, establecimientos y demás organismos de la administración central, regional, provincial y local, que se dedican a actividades tales como la prestación de servicios de administración, defensa, sanidad, enseñanza y otros servicios sociales, y a la promoción del desarrollo económico, y se financian por presupuestos ordinarios, extraordinarios o con fondos extrapresupuestarios.

### Deflactor implícito del PIB

Índice que muestra la evolución de los precios de los componentes del Producto Interno Bruto. El deflactor implícito tiene la siguiente expresión:

$$DI \text{ PIB} = \frac{PIB \text{ a precios corrientes}}{PIB \text{ a precios constantes}}$$

### Imputaciones Bancarias (servicios de intermediación financiera medidos indirectamente, -SIFMI)

Valor del servicio prestado por el sector financiero, al actuar como intermediario entre los oferentes y demandantes de fondos, para el cual no existe un cobro explícito y es medido en función de los intereses netos recibidos por el sistema financiero. Dado que no es posible desagregar este servicio entre los diferentes usuarios, una de las alternativas propuestas por el SCN 1993 es restar este monto al valor agregado total de las ramas de actividad, a través de la creación de una industria ficticia.

### IVA neto recaudado

Impuesto al valor agregado recaudado por el Gobierno y cancelado en última instancia por los compradores que no tienen derecho legal a recuperar este gravamen.

### Producto interno bruto, a precios de mercado (PIB)

Es una de las medidas de producción de bienes y servicios, neto de duplicaciones, generados en el país en un determinado período. Se valora a precios de mercado y su medición se efectúa generalmente a través de los valores agregados por las diversas ramas de actividad económica, o productores, incluyéndose, además, el impuesto al valor agregado (IVA recaudado) y los derechos de importación.

$$\begin{array}{l} \Sigma \text{ Valores agregados sectoriales} \\ - \text{ Costo imputado de los servicios bancarios} \\ + \text{ IVA neto recaudado} \\ + \text{ Derechos de importación} \\ \hline \text{Producto interno bruto a precios de mercado} \end{array}$$

Es igual al gasto del producto interno bruto a precios de mercado o a la suma de las remuneraciones de los empleados, el consumo de capital fijo, los impuestos indirectos netos y el excedente de explotación.

### **Propiedad de Vivienda**

Corresponde a la actividad económica que genera una corriente de ingresos efectivos o imputados, derivados del servicio que prestan las viviendas al ser utilizadas para fines habitacionales de los hogares. En la práctica, mide el valor de los arriendos pagados efectivamente por los arrendatarios, más un valor imputado para aquellas viviendas que son habitadas por sus propietarios. La actividad propiedad de vivienda según clasificación CIIU Rev. 3, corresponde a la gran división 70, aunque la categoría correspondiente a la actividad viviendas ocupadas por sus propietarios no existe en dicha clasificación. En el SCN, sin embargo, se distingue explícitamente el servicio imputado por las viviendas arrendadas.

### **Valor agregado bruto**

Es igual a la producción bruta de las industrias en valores a precios de productor menos los valores a precio de comprador del consumo intermedio. Es equivalente a la suma de remuneraciones, impuestos sobre la producción netos de subvenciones, asignación para el consumo de capital fijo y excedente de explotación de los establecimientos productores.

## Anexo 1: Indicadores basados en métodos de descomposición

El método buscado es conocido normalmente como *Análisis de descomposición*. Para llevar a cabo este análisis es necesario afrontar una serie de decisiones, las cuales son mostradas en el Cuadro 38.

Cuadro 38: Consideraciones en el análisis de Descomposición

Consideraciones en el análisis de descomposición	Opciones
1° Representatividad de los datos	Considerando una muestra (método canasta) El total de la información energética
2° Elección de las variables a descomponer	Variación del Consumo de Energía Variación de la Intensidad Energética Agregada
3° Elección de tratamiento temporal	Análisis de una serie de tiempo Análisis de un período
4° Elección del método de Descomposición	Laspeyres Método de División Paramétrico Descomposición por canasta de energéticos <sup>84</sup>
5° Elección del Método de Descomposición Paramétrico	Método de Descomposición Paramétrico 1 (PDM1) Método de Descomposición Paramétrico 2 (PDM2)

Fuente: Mallika, 1998

Tal como se establece en el cuadro anterior, el estudio de la eficiencia energética puede realizarse eligiendo una muestra representativa de los consumos energéticos o contabilizando el total de la energía consumida a nivel nacional o sectorial. El considerar la totalidad del consumo energético mejora el análisis pero requiere de una mayor cantidad de información asociada.

Luego, es necesario escoger que variable es la que será descompuesta. Existen principalmente dos tipos de variables que usualmente se descomponen para aislar el efecto de la eficiencia energética, estas son: las variaciones en el Consumo de Energía,  $\Delta E$ , y las variaciones en la Intensidad Energética,  $\Delta I$ .

En efecto, dado que el consumo de energía en el período  $t$  corresponde a la suma de los consumos realizados en cada uno de los sectores que consumen, se tiene que:

$$E_t = \sum_j E_{j,t} \quad \text{Ec. 10}$$

donde:

$E_t$  : Energía total consumida en el período  $t$   
 $E_{j,t}$  : Energía utilizada por el sector  $j$  en el período  $t$ .

Aplicando la identidad:

<sup>84</sup> Metodología implementada en CNE, 2002

$$E_t = \sum_j A_t \times \frac{A_{j,t}}{A_t} \times \frac{E_{j,t}}{A_{j,t}} = \sum_j A_t \times S_{j,t} \times I_{j,t} \quad \text{Ec. 11}$$

donde:

- $A_t$  : Nivel de actividad en el período  $t$
- $A_{j,t}$  : Nivel de actividad del sub-sector  $j$  en el período  $t$
- $S_{j,t}$  : Participación del sub-sector  $j$  en el período  $t$ .
- $I_{j,t}$  : Intensidad Energética del sub-sector  $j$  en el período  $t$ .

Al aplicar sobre la ecuación 3, alguno de los métodos de descomposición existentes (que se tratarán más adelante en mayor detalle), se obtendrá la descomposición de la variable  $\Delta E$  que corresponde a las variaciones del Consumo de Energía (Ec 4). Esta descomposición resulta típicamente en tres componentes: Una componente de actividad o producción, una componente estructural, y una componente de intensidad energética. A estos tres efectos se suma un resto ( $R$ ), el que puede ser interpretado como el aporte a  $\Delta E$  que se asocia a la interacción de los efectos principales.

$$\Delta E = E_T - E_0 = \Delta ACT + \Delta STR + \Delta INT + R \quad \text{Ec. 12}$$

donde  $E_0$  corresponde a la energía total consumida en el año 0 del periodo estudiado

Cabe destacar que  $\Delta ACT$ ,  $\Delta STR$ , y  $\Delta INT$  (representan las variaciones de actividad, estructura e intensidad energética respectivamente), son consumos de energía (es decir, tienen unidades energéticas como por ejemplo, tercalorías) que.

La segunda variable que usualmente es descompuesta en los estudios de eficiencia energética es  $\Delta I$ , que representa las variaciones de la Intensidad Energética, se obtendrá como resultado de aplicar un método de descomposición a la Ec. 5. En efecto, al dividir el consumo de energía en el tiempo  $t$  (Ec. 3), por el nivel de actividad en el tiempo  $t$ ,  $A_t$ , se obtiene la Intensidad energética  $I_t$  en el tiempo  $t$ .

$$I_t = \frac{E_t}{A_t} = \sum_j S_{j,t} \times I_{j,t} \quad \text{Ec. 13}$$

Análogamente, aplicando un método de descomposición a la relación anterior, se deriva que la variación de la Intensidad Energética  $\Delta I$ , resulta ser la suma de dos efectos principales, una componente estructural y otra de Intensidad Energética pura. Nuevamente existirá un término residual ( $R$ ), que podría representar la interacción de los efectos Estructurales y de Intensidad Energética pura, es decir:

$$\Delta I = I_T - I_0 = \Delta STR + \Delta INT_p + R \quad \text{Ec. 14}$$

donde  $I_0$  corresponde a la intensidad energética en el año 0 del periodo estudiado.

Cabe destacar que en este caso las variables  $\Delta STR$  y  $\Delta INT_p$ , tienen unidades de Intensidad Energética (Energía/actividad como por ejemplo Tcal/\$PIB). Luego, estas últimas variables no son equivalentes a las asociadas a la descomposición de la variable  $\Delta E$  (variaciones del Consumo de Energía).

Idealmente, ambos términos deberían ser iguales (el lado izquierdo y derecho de la ecuación), lo que implicaría que los efectos explican completamente las variaciones estudiadas, sin embargo, esto no ocurre en la mayoría de los casos debido a que el término residual (R), puede resultar considerable. A pesar de que algunos autores intentan darle algún significado, particularmente a la interacción de los efectos, otros autores (Mallika, 1998) señalan que será mejor mientras menor sea su valor.

El tercer paso, es la elección del tratamiento temporal de las variables, éste puede ser periódico, es decir, considerando sólo la variación entre el primer y último período, o considerando completamente la serie de tiempo, nuevamente la serie completa permitirá observar mejor las tendencias pero requerirá de mayor información.

Definidas las alternativas anteriores, se requiere elegir que método de descomposición será utilizado. La idea general para cuantificar el aporte de cada uno de los efectos, consiste en determinar la variación de uno de ellos mientras los demás permanecen constantes. En el presente documento se abordarán principalmente dos métodos de descomposición:

- a) El método de Laspeyres (IEA, 2004): permite descomponer las variaciones en el consumo de energía en los tres factores que determinan su evolución: el nivel de actividad o producción, la composición de la estructura de la economía y finalmente el nivel de actividad por unidad de energía consumida, midiendo la variación observada con respecto a un año base<sup>85</sup>.

$$\begin{aligned} \Delta E_{0t} &= E_t - E_0 \\ \Delta E_{0t} &= \sum_j ([A_0 + \Delta A_t]) \times ([S_{j0} + \Delta S_{it}]) \times ([I_{j0} + \Delta I_{jt}]) - \sum_j (A_0 \times S_{j0} \times I_{j0}) \\ \Delta E_{0t} &= \underbrace{\sum_j (\Delta A_t \times S_{j0} \times I_{j0})}_{\text{Efecto de Actividad}} + \underbrace{\sum_j (A_0 \times \Delta S_{it} \times I_{j0})}_{\text{Efecto de Estructura}} + \underbrace{\sum_j (A_0 \times S_{j0} \times \Delta I_{jt})}_{\text{Efecto de Intensidad Energética}} + \underbrace{R_{0t}}_{\text{Resto}} \quad \text{Ec. 15} \end{aligned}$$

donde

- $E_0, E_t$  : Energía utilizada por el sector en el período 0 (base) y en el período t  
 $A_0, A_0 + \Delta A_t$  : Nivel de actividad del sector en el período 0 y en el periodo t  
 $I_{j0}, I_{j0} + \Delta I_{jt}$  : Intensidad Energética del subsector j en el período 0 y en el periodo t  
 $S_{j0}, S_{j0} + \Delta S_{it}$  : Participación del subsector j en el período 0 y en el periodo t

<sup>85</sup> En el anexo 1 se presenta en mayor detalle la formulación matemática de los métodos de descomposición.

$R_{0t}$  : Resto en el tiempo t

- b) Método de División Paramétrico (Cornillie y Fankhauser, 2004): permite descomponer las variables de consumo de energía o Intensidad energética. Existen dos métodos de división paramétrico que se expresan de la siguiente forma:

I. El PDM 1 se formula de la manera siguiente:

Para Consumo de Energía, la Ec. 3 se divide por  $E_0$  y luego se diferencia con respecto al tiempo y luego se integra entre el período 0 y el período t. Dado que la ecuación resultante es de difícil resolución se establece la división paramétrica siguiente:

$$\Delta E = \Delta ACT + \Delta STR + \Delta INT + R$$

$$\Delta ACT = [E_0 + \alpha(E_t - E_0)] \ln(A_t / A_0) \quad \text{Ec. 16}$$

$$\Delta STR = \sum_j [E_{j,0} + \beta_j(E_{j,t} - E_{j,0})] \ln(S_{j,t} / S_{j,0})$$

$$\Delta INT = \sum_j [E_{j,0} + \tau_j(E_{j,t} - E_{j,0})] \ln(I_{j,t} / I_{j,0})$$

ó, en el caso de Intensidad energética, esta vez la Ec. 5 se divide por  $I_0$  y luego se deriva y luego se integra con respecto al tiempo, una vez más se recurre al método paramétrico para obtener:

$$\Delta I = \Delta STR + \Delta INT_p$$

$$\Delta STR = \sum_j \left[ \frac{E_{j,0}}{A_0} + \beta_j \left( \frac{E_{j,t}}{A_t} - \frac{E_{j,0}}{A_0} \right) \right] \ln(S_{j,t} / S_{j,0}) \quad \text{Ec. 17}$$

$$\Delta INT_p = \sum_j \left[ \frac{E_{j,0}}{A_0} + \tau_j \left( \frac{E_{j,t}}{A_t} - \frac{E_{j,0}}{A_0} \right) \right] \ln(I_{j,t} / I_{j,0})$$

donde  $\Delta INT$  representa la variación de la Intensidad pura.

- II. División paramétrica PDM 2: las ecuaciones 3 y 5 sólo se derivan e integran entre 0 y t para obtener, en el caso del consumo de energía, el resultado mostrado en la Ec. 10

$$\Delta E = \Delta ACT + \Delta STR + \Delta INT + R$$

$$\begin{aligned} \Delta ACT &= [I_0 + \alpha(I_t - I_0)](A_t - A_0) \\ \Delta STR &= \sum_j [I_{j,0}A_0 + \beta_j(I_{j,t}A_t - I_{j,0}A_0)](S_{j,t} - S_{j,0}) \\ \Delta INT &= \sum_j [A_{j,0} + \tau_j(A_{j,t} - A_{j,0})](I_{j,t} - I_{j,0}) \end{aligned} \quad \text{Ec. 18}$$

ó, en el caso de Intensidad energética

$$\begin{aligned} \Delta I &= \Delta STR + \Delta INT_p \\ \Delta STR &= \sum_j [I_{j,0} + \beta_j(I_{j,t} - I_{j,0})](S_{j,t} - S_{j,0}) \\ \Delta INT_p &= \sum_j [S_{j,0} + \tau_j(S_{j,t} - S_{j,0})](I_{j,t} - I_{j,0}) \end{aligned} \quad \text{Ec. 19}$$

donde  $0 \leq \beta_j, \tau_j \leq 1$

El método es denominado paramétrico debido a que se establecen parámetros ( $\alpha, \beta, \tau$ ) que permiten cambiar el peso en la variable estática. Ejemplo de esto es el caso particular de la descomposición PDM2 de la variación del consumo de energía (Ec. 10), de modo que si los parámetros se eligen iguales a cero la división paramétrica se hace igual a la división de Laspeyres, lo que implica medir todas las variaciones con respecto al año de base.

De esta manera, eligiendo el valor de los parámetros  $\beta_i, \tau_i$  la parte integral de la descomposición queda entonces definida. El cuadro siguiente establece el significado de los parámetros y sus valores más comunes:

Cuadro 39: Significado de los parámetros de ponderación para la descomposición mediante PDM

Parámetro	Significado	Método
$\beta = \tau = 0$	Índice con peso en el año de base	Basado en Laspeyres
$\beta = \tau = 0,5$	Igual peso en el año base y el final	Promedio Simple
$\alpha \neq \beta \neq \tau$	Pesos no fijos	Método adaptativo

Fuente: Mallika, 1998

## Anexo 2: Utilización de los Métodos de Descomposición

La Descomposición de los consumos de los consumos de energía e Intensidad energética se basan en la relación:

$$E_t = \sum_j E_{j,t} \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

$E_t$  : Energía total consumida en el período  $t$   
 $E_{j,t}$  : Energía utilizada por el sector  $j$  en el período  $t$ .

Aplicando la identidad

$$E_t = \sum_j A_t \times \frac{A_{j,t}}{A_t} \times \frac{E_{j,t}}{A_{j,t}} = \sum_j A_t \times S_{j,t} \times I_{j,t} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde

$A_t$  : Nivel de actividad en el período  $t$   
 $A_{j,t}$  : Nivel de actividad del subsector  $j$  en el período  $t$   
 $S_{j,t}$  : Participación del subsector  $j$  en el período  $t$ .

$$S_{j,t} = \frac{A_{j,t}}{A_t} \quad \text{Ec. 22}$$

$I_{j,t}$  : Intensidad Energética del subsector  $j$  en el período  $t$ .

$$I_{j,t} = \frac{E_{j,t}}{A_{j,t}} \quad \text{Ec. 23}$$

La descomposición utilizada en el estudio es la denominada Método de División Paramétrica 2, la formulación del método es la siguiente:

$$\Delta E = \Delta ACT + \Delta STR + \Delta INT + R$$

$$\Delta ACT = [I_0 + \alpha(I_t - I_0)](A_t - A_0) \quad \text{Ec. 24}$$

$$\Delta STR = \sum_j [I_{j,0}A_0 + \beta_j(I_{j,t}A_t - I_{j,0}A_0)](S_{j,t} - S_{j,0})$$

$$\Delta INT = \sum_j [A_{j,0} + \tau_j(A_{j,t} - A_{j,0})](I_{j,t} - I_{j,0})$$

Por lo tanto, si se tienen para un sector dado, que se compone de dos subsectores, los siguientes consumos de energía y valor agregado:

Cuadro 40: Energía de los subsectores

Energía	0	1	2
Unidad: Tep			
Sector	156.914	217.678	251.154
Subsector 1	121.914	177.678	206.154
Subsector 2	35.000	40.000	45.000

Cuadro 41: Valor agregado de los subsectores

Actividad	0	1	2
<i>Valor Agregado</i> Unidad: Millones de dólares internacionales de 2004 a PPP, (MMUS\$ de 2004 a PPP)			
Sector	735	1046	1233
Subsector 1	396	679	848
Subsector 2	339	368	385

Entonces al dividir el valor agregado de cada subsector por el valor agregado total del sector, es decir, al aplicar la ecuación 21 a los datos del Cuadro 41, se tendrá la participación de cada subsector en el sector, es decir:

Cuadro 42: Participación de los subsectores

Estructura	0	1	2
Unidad: %			
Sector			
Subsector 1	54%	65%	69%
Subsector 2	46%	35%	31%

Por otro lado al dividir los consumos de energía del sector y los subsectores por su valor agregado correspondiente aplicando la ecuación 22 a los datos en los cuadros 26 y 27 se tendrá:

Cuadro 43: Intensidad energética

Intensidad Energética	0	1	2
Unidad: (Tep/MMUS\$ 2004 PPP)			
Sector	213	208	204
Subsector 1	308	262	243
Subsector 2	103	109	117

A los valores de los cuadros 27, 28, 29 se aplican las Ecuaciones de División Paramétrica 2 (Ec. 5) utilizando los parámetros  $\alpha = 0,5$ ;  $\beta = 0,5$ ; y  $\tau = 0,5$ ; se tendrá

- Variación en la actividad

$$\Delta ACT = [I_0 + \alpha(I_t - I_0)](A_t - A_0)$$

$$\Delta ACT_{01} = ((213 + 0,5 \times (208 - 213)) \times (1046 - 735)) / 156.914 = 0,42 = 42\%$$

$$\Delta ACT_{02} = ((213 + 0,5 \times (204 - 213)) \times (1233 - 735)) / 156.914 = 0,66 = 66\%$$

- Variación de la estructura

$$\Delta STR = \sum_j [I_{j,0} A_0 + \beta_j (I_{j,t} A_t - I_{j,0} A_0)] (S_{j,t} - S_{j,0})$$

$$\Delta STR_{01} = [((308 \times 735 + 0,5 \times (262 \times 1046 - 308 \times 735)) \times (65\% - 54\%) + (103 \times 735 + 0,5 \times (109 \times 1046 + 103 \times 735) \times (35\% - 46\%)))] / 156.914 = 0,11 = 11\%$$

$$\Delta STR_{02} = ((308 \times 735 + 0,5 \times (243 \times 1233 - 308 \times 735)) \times (69\% - 54\%) + (103 \times 735 + 0,5 \times (117 \times 1233 + 103 \times 735) \times (31\% - 46\%))) / 156.914 = 0,15 = 15\%$$

- Variación de la intensidad

$$\Delta INT = \sum_j [A_{j,0} + \tau_j (A_{j,t} - A_{j,0})] (I_{j,t} - I_{j,0})$$

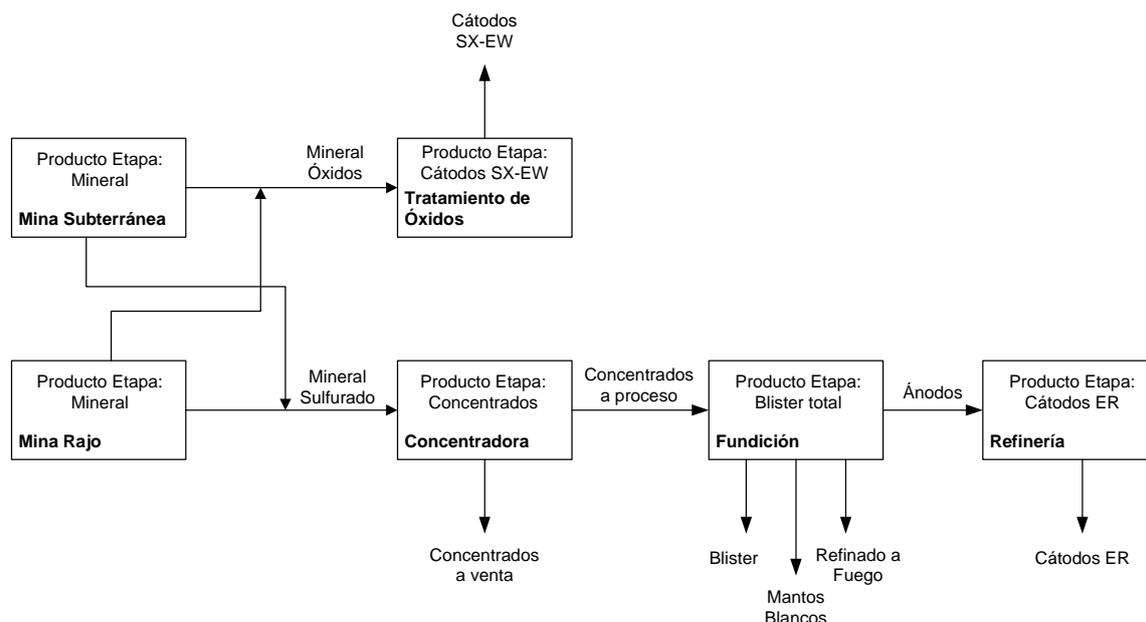
$$\Delta INT_{01} = ((396 + 0,5 \times (679 - 396)) \times (262 - 308) + (339 + 0,5 \times (368 - 339)) \times (109 - 103)) / 156.914 = -0,14 = -14\%$$

$$\Delta INT_{02} = ((396 + 0,5 \times (848 - 396)) \times (243 - 308) + (339 + 0,5 \times (385 - 339)) \times (117 - 103)) / 156.914 = -0,21 = -21\%$$

### Anexo 3: Proceso de producción de cobre

En la Figura 78 se observa el esquema general de producción de cobre. De la etapa de mina se obtiene el mineral que será procesado básicamente: en el caso de los sulfuros, el mineral por pirometalurgia y en el de los óxidos, por hidrometalurgia.

Figura 78: Esquema de producción de Cobre.



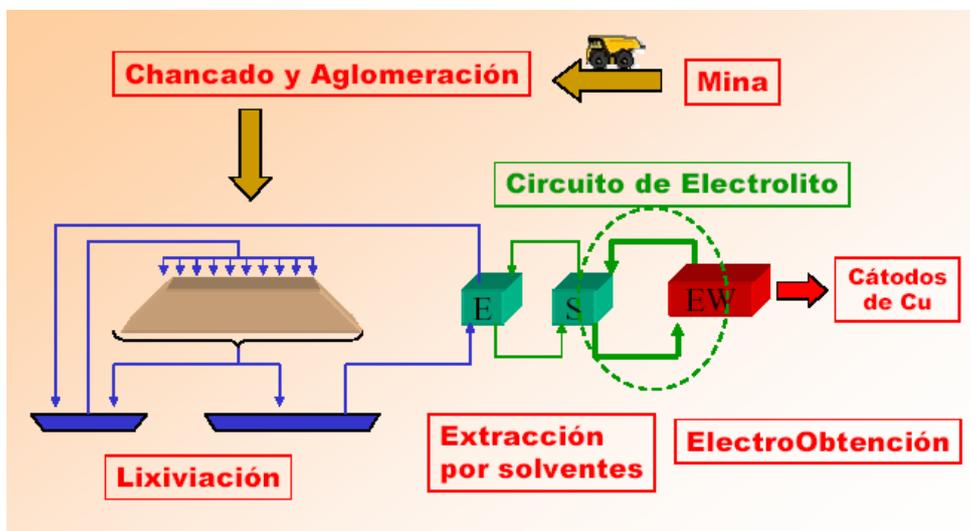
El mineral sulfurado pasa a la etapa de concentradora en donde el mineral es molido y flotado aumentando su contenido de cobre pero aún en combinación con azufre, luego de esto se lleva a espesadores para recuperar parte del agua. Finalmente el producto se lleva a filtros.

Parte de los concentrados totales producidos (etapa Concentradora en la Figura 78) son vendidos como tal y el resto continúa en proceso. Este último pasa a la Fundición en donde se les extrae la humedad para luego llevarlos a equipos de fusión (Convertidor Teniente, horno flash, etc.), el eje o mata que resulta de este proceso se lleva a convertidores para obtener blister que luego será refinado a fuego y moldeado en ánodos. Los ánodos (que contienen alrededor de 99,7% de Cobre, se llevan a la refinería electrolítica para una última etapa de refinación.

En la etapa de Refinación (ver Figura 78) los ánodos son instalados en celdas, generalmente de concreto, alternando con el cátodo, que es una lámina madre de cobre electrolítico en las refinerías convencionales, y en las refinerías de cátodo permanente es una lámina de acero inoxidable. Éstos se sumergen en el electrolito que es una solución de ácido sulfúrico y sulfato de cobre. Por aplicación de corriente eléctrica (diferencia de potencial) el cobre impuro del ánodo se disuelve en la solución y se deposita en el cátodo.

El mineral oxidado proveniente de la mina se somete en primer lugar a un proceso de chancado, luego el mineral se aglomera o cura con ácido para posteriormente ser sometido a lixiviación.

Figura 79: Proceso de obtención de cátodos SX, EW



La lixiviación es un proceso que se basa en la propiedad que tienen los minerales de cobre oxidados de ser atacados por soluciones ácidas, solubilizando los compuestos oxidados de cobre contenidos en ellos. Normalmente la lixiviación se realiza en pilas de mineral que se construyen sobre una carpeta impermeable de PVC y en la parte superior se instala un sistema para regar por goteo con la solución ácida (ácido sulfúrico). Por la parte inferior, a través de canaletas especiales se va retirando la solución ácida cargada con cobre ("pregnant solution") que es la que posteriormente se somete a extracción por solvente (SX).

En esta etapa, la solución se pone en contacto con un solvente orgánico que le extrae el cobre. Este solvente orgánico, en la etapa de re-extracción, le traspasa el cobre a una solución ácida con bajo contenido de cobre, proveniente de la etapa de electrodeposición, generando así un electrolito rico y regenerando el solvente orgánico que vuelve a ser utilizado.

En la extracción por solvente el consumo de energía es preferentemente eléctrico y se utiliza para bombeo y manejo de soluciones.

El electrolito rico se lleva a la etapa de electrodeposición (EW), proceso que se realiza en celdas generalmente de concreto polimérico, utilizando un ánodo insoluble de plomo y un cátodo permanente de acero inoxidable, que es donde se deposita el cobre que contiene el electrolito al aplicarse corriente continua. Los productos de la electrodeposición son: cobre metálico en el cátodo EO (99,99% Cu) y ácido sulfúrico que se regenera y se recircula a la etapa de lixiviación o de extracción por solvente.