

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	2
NOMENCLATURA Y UNIDADES UTILIZADAS	3
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	5
1.1. INTRODUCCIÓN	5
1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	7
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	7
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	7
2. ANTECEDENTES.....	8
2.1. ANTECEDENTES GENERALES DE CHILE	8
2.2. EL SECTOR ENERGÍA	8
3. EMISIONES DEL SECTOR ENERGÍA.....	9
3.1. EMISIONES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN	9
3.1.1. <i>Introducción</i>	9
3.1.2. <i>Sectores considerados</i>	10
3.1.3. <i>Emisiones de dióxido de carbono</i>	12
3.1.4. <i>Emisiones de otros gases de efecto invernadero</i>	21
3.2. EMISIONES FUGITIVAS	26
3.2.1. <i>Emisiones de metano producto de la minería del carbón</i>	26
3.2.2. <i>Emisiones de metano producto de la explotación de petróleo y gas natural</i>	28
3.2.3. <i>Precursores de ozono y emisiones de SO₂ provenientes de la refinación de petróleo</i>	31
4. PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE SOLVENTES	33
4.1. PROCESOS INDUSTRIALES.....	33
4.1.1. <i>Introducción</i>	33
4.1.2. <i>Cemento</i>	33
4.1.3. <i>Hierro y acero</i>	35
4.1.4. <i>Cobre</i>	36
4.1.5. <i>Celulosa y papel</i>	38
4.2. USO DE SOLVENTES	39
5. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.....	41

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

AGRADECIMIENTOS

El equipo de trabajo contó con la valiosa cooperación de la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO), quien proporcionó todos los antecedentes de base requeridos para el subsector cobre.

NOMENCLATURA Y UNIDADES UTILIZADAS

- Siglas

ADt	Air dried ton
CNE	Comisión Nacional de Energía
COCHILCO	Comisión Chilena del Cobre
CODELCO-CHILE	Corporación Nacional del Cobre-CHILE
CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente
COPEC	Compañía de Petróleos de Chile
ENAP	Empresa Nacional del Petróleo
GEI	Gases de efecto invernadero
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
PCI	Poder calorífico inferior
PIB	Producto interno bruto
PCS	Poder calorífico superior
PRIEN	Programa de Investigaciones en Energía de la Universidad de Chile
SERNAGEOMIN	Servicio Nacional de Geología y Minería
SERNAP	Servicio Nacional de Pesca
UNEP	United Nations Environment Programme (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente)
WMO	World Meteorological Organization (Organización Meteorológica Mundial de las Naciones Unidas)

- Prefijos y factores multiplicativos

Factor multiplicativo	Abreviación	Prefijo	Símbolo
1 000 000 000 000 000	10^{15}	peta	P
1 000 000 000 000	10^{12}	tera	T
1 000 000 000	10^9	giga	G
1 000 000	10^6	mega	M
1 000	10^3	kilo	k
100	10^2	hecto	h
10	10^1	deca	da
0,1	10^{-1}	deci	d
0,01	10^{-2}	centi	c
0,001	10^{-3}	mili	m
0,0001	10^{-6}	micro	μ

- Abreviaturas de compuestos químicos

CH ₄	Metano
CFC	Clorofluorocarbonos
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
COVNM	Compuestos Orgánicos Volátiles No-Metánicos
H ₂ O	Agua
HFC	Hidrofluorocarbonos
N ₂ O	Óxido Nitroso
NO _x	Óxidos de Nitrógeno
O ₃	Ozono
PFC	Perfluorocarbonos
SF ₆	Hexafluoruro de Azufre
SO ₂	Dióxido de Azufre

- Equivalencias

1 tonelada equivalente de petróleo (tep)	1 x 10 ¹⁰ calorías
10 ³ tep	41,868 TJ
1 caloría _{IT}	4,1868 J
1 tonelada	1 megagramo
1 kilotonelada	1 gigagramo
1 megatonelada	1 teragramo
1 kilogramo	2,2102 libras

- Unidades y abreviaturas

metro cúbico	m ³
gramo	g
tonelada	t
joule	J
caloría	cal
grado Celsius	°C
masa seca	ms
watt	W

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. INTRODUCCIÓN

*El efecto invernadero*¹

Al igual que los vidrios en un invernadero, existen en la atmósfera una serie de gases que dejan pasar la radiación solar (luz visible) a la superficie terrestre, atrapando la radiación infrarroja –también conocida como radiación térmica– que es re-emitida por ésta. De no existir estos gases, la radiación térmica escaparía al espacio. Es a este atrapamiento de la radiación infrarroja a lo que se conoce como el efecto invernadero. Los gases que influyen en el balance de radiación entre la superficie terrestre y la atmósfera, son conocidos como radiativamente activos o gases de efecto invernadero (GEI).

Aún en la ausencia de interferencia humana, el efecto invernadero está constantemente en operación. Una serie de constituyentes naturales de la atmósfera son radiativamente activos. Los más importantes son el vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2) y las nubes. Ellos contribuyen en aproximadamente un 90% al efecto invernadero natural, mientras que el resto se debe al ozono (O_3), metano (CH_4) y otros gases presentes naturalmente en la atmósfera.

Ciertas actividades humanas, tales como la quema de combustibles fósiles, los procesos industriales y otros, son causa de la emisión de GEI. Estas emisiones provocan un cambio en el balance radiativo del sistema atmosférico de superficie.

Los GEI pueden dividirse en tres categorías: (1) los radiativamente activos, tales como el vapor de agua, dióxido de carbono, ozono, metano, óxido nitroso (N_2O) y los clorofluorocarbonos (CFC), que ejercen un efecto climático directo; (2) los química/fotoquímicamente activos, tales como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre² (SO_2), que ejercen efectos climáticos indirectos a través de reacciones químicas que determinan la concentración en la atmósfera de radicales hidróxilos (OH), CH_4 y O_3 , y; (3) las emisiones de aerosoles.

Es interesante notar que hace ya unos 150 años que existe consciencia que la emisión de ciertos gases puede afectar el clima terrestre. Fourier fue probablemente el primero en discutir la relación entre CO_2 y el efecto invernadero en 1827, al compararlo con el calentamiento del aire aislado bajo una placa de vidrio. A principios de este siglo, Arrhenius hizo el primer cálculo de cambio climático. Su resultado fue que un incremento del CO_2 por un factor de 2,5-3 aumentaría la temperatura global media superficial en 8-9 °C. En 1941, Flohn notó que la producción antropogénica de CO_2 perturba el ciclo del carbono llevando a un incremento constante de éste en la atmósfera. En 1957, Revelle y

¹ Basado en Krause et al. (1989) e IPCC (1995 y 1996).

² El SO_2 no es un gas de efecto invernadero, pero su presencia en la atmósfera puede influir en el clima.

Suess concluyeron que las actividades humanas estaban iniciando un experimento geofísico global que llevaría a cambios climáticos detectables en pocas décadas. En el mismo año, Keeling y colaboradores comenzaron el primer programa de mediciones de CO₂ en el Mauna Loa (Hawai) y en el Polo Sur, como parte del Año Geofísico Internacional.

A partir de entonces se han realizado una serie de estudios y conferencias mundiales que se han ocupado del tema. En ellos se ha establecido que existe un riesgo de consecuencias importantes derivadas de un cambio acelerado del sistema climático a nivel planetario. Existe evidencia de que en el pasado variaciones de un par de grados en la temperatura media superficial, estuvieron asociadas con cambios en el nivel de los océanos, casquetes polares, superficie boscosa y climas regionales. En la actualidad, dichos cambios podrían tener importantes impactos en el desarrollo socioeconómico de muchos países.

Sin embargo, hasta la fecha no existe un consenso respecto de la magnitud de los impactos, tanto globales como regionales, asociados a un calentamiento global dado. Ello se debe, en parte, a la complejidad del sistema bajo estudio, siendo por ende difícil su modelación.

Ante esta falta de consenso han surgido dos visiones contrapuestas:

- *No actuar hasta que exista certeza sobre los impactos.* Quienes sustentan esta visión argumentan que las incertidumbres científicas son aún demasiado grandes como para gastar recursos en costosas medidas preventivas. En vez, abogan por más investigaciones para reducir dichas incertidumbres.
- *Actuar ahora para minimizar los riesgos.* Se sostiene que, a pesar de que existen dudas, si efectivamente se produce un calentamiento global, la falta de acción podría llevar a consecuencias catastróficas. Por lo tanto, se deberían establecer desde ya las políticas y realizar las inversiones necesarias para minimizar los riesgos o adaptarse a los cambios. En muchos casos, dichas acciones son del tipo de “no remordimiento”, es decir, producen un beneficio neto, independiente de su efecto sobre las causas o las consecuencias negativas de un calentamiento global.

En junio de 1992, cerca de 150 países firmaron en Río de Janeiro la Convención sobre Cambio Climático, la cual responde a la segunda de las visiones mencionadas. El objetivo último de dicha Convención es la estabilización de la concentración de GEI en la atmósfera a un nivel tal que prevenga la interferencia antropogénica dañina con el sistema climático. Dicho nivel debe alcanzarse dentro de un período de tiempo suficientemente largo como para permitir a los ecosistemas adaptarse naturalmente al cambio climático³.

El presente inventario de gases de efecto invernadero es consecuencia del compromiso de los países signatarios de la Convención, en orden a desarrollar, actualizar periódicamente, publicar y hacer disponible sus inventarios nacionales de todos los GEI no controlados por el Protocolo de Montreal.

³ IPCC (1995).

Para la realización de dicho inventario, se ha seguido la metodología del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC⁴), con el fin de que los resultados sean comparables con aquéllos de los otros países.

Alcance

El presente inventario se realizó para los años 1986 al 1998. Los gases que incluye el presente inventario son CO₂, CH₄, N₂O, CO, NO_x, COVNM⁵, SO₂.

Dada la carencia de adecuados factores de emisión nacionales, se han utilizado los valores por defecto del IPCC. Sin embargo, dado que se presenta el detalle de los cálculos realizados, los resultados podrán ser fácilmente modificados una vez que se disponga de factores nacionales.

Dicha carencia de factores nacionales introduce incertidumbre en los resultados obtenidos, incertidumbre que no fue cuantificada. Sin embargo –como se verá en el punto siguiente– dado que el objetivo es identificar a las principales fuentes emisoras y tener un orden de magnitud de las emisiones correspondientes, se estima que la precisión de las cifras es adecuada.

1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero debidas a la producción y consumo de energía, procesos industriales y uso de solventes en Chile durante el período 1986-1998, en orden a identificar las principales fuentes emisoras, lo que permitirá definir las acciones que el país debiera adoptar para contribuir a los esfuerzos mundiales destinados a mitigar emisiones futuras de estos gases.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la relevancia de las emisiones de CO₂, CH₄, N₂O, CO, NO_x, COVNM, SO₂ en Chile, producto de la combustión de combustibles y biomasa, fuentes fugitivas, procesos industriales y uso de solventes.
- Identificar las fuentes que concentran las emisiones de gases de efecto invernadero.

⁴ El IPCC es un cuerpo intergubernamental establecido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) y la Organización Meteorológica Mundial de las Naciones Unidas (WMO), con el fin de hacer disponibles los resultados de las investigaciones sobre cambio climático a los tomadores de decisiones. Las guías para realizar inventarios de gases de efecto invernadero están siendo desarrolladas bajo los auspicios del IPCC.

⁵ COVNM: Compuestos Orgánicos Volátiles No-Metánicos.

2. ANTECEDENTES

2.1. ANTECEDENTES GENERALES DE CHILE

Chile está ubicado en el sudoeste de Sudamérica, entre aproximadamente los 17° 30' y 55° 59' de latitud sur y 66° 59' y 75° 40' de longitud oeste. Al este del país se ubica la Cordillera de Los Andes y al oeste el Océano Pacífico. Tiene una superficie de 756.626 km² y una población, mayoritariamente urbana, de 13.994.400 habitantes en 1994⁶.

El país es recorrido en más de la mitad de su extensión por la Cordillera de la Costa y la depresión intermedia. El tercio sur se caracteriza por la existencia de archipiélagos. De norte a sur, los climas varían de desértico a semiárido templado con lluvias invernales, templado cálido con lluvias invernales, templado cálido lluvioso con influencia mediterránea, templado frío lluvioso sin estación seca y polar.

Su capital, Santiago, está ubicada en el centro del país, donde se concentra la mayoría de la población y de las actividades industriales.

Figura 2.1: Ubicación de Chile



2.2. EL SECTOR ENERGÍA

En 1998, las principales fuentes de energía primaria fueron el petróleo crudo, la leña y sus derivados, y el carbón, representando en conjunto casi un 80% del total⁷.

Cabe señalar que del total de petróleo crudo procesado, sólo un 2,7% fue extraído en el país⁸. Por otra parte, destaca la importancia de la leña y sus derivados en la matriz energética.

La generación hidroeléctrica es aproximadamente un 45%⁹, existiendo en 1998 una capacidad instalada de 8.423 MW¹⁰.

⁶ Fuente: Síntesis Estadística de Información Económica de Chile 1992-1996, Banco Central de Chile.

⁷ Fuente: Balance Nacional de Energía 1979-1998 Chile, Comisión Nacional de Energía.

⁸ CNE. Op. cit.

⁹ CNE. Op. cit.

¹⁰ CNE. Op. cit.

El consumo de energía se reparte aproximadamente en partes iguales entre los sectores (i) transporte, (ii) industrial y minero, (iii) comercial, público y residencial, y (iv) centros de transformación¹¹.

3. EMISIONES DEL SECTOR ENERGÍA

3.1. EMISIONES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN

3.1.1. Introducción

En este capítulo se presenta un resumen de las emisiones de GEI producto de la combustión, distinguiendo entre las emisiones de CO₂ y las del resto de gases considerados en este inventario (CH₄, N₂O, CO, NO_x, COVNM y SO₂)¹².

Dicha distinción se fundamenta en que para el primero de los gases señalados: (a) en términos agregados, el orden de magnitud de las emisiones es claramente superior; (b) el nivel de certeza de la estimación es mayor; (c) la metodología de cálculo es distinta, y; (d) el volumen y complejidad de la información requerida para el cálculo de las emisiones es menor.

En efecto, en una combustión ideal entre un hidrocarburo (H_mC_n) y oxígeno, las únicas emisiones gaseosas serían CO₂ y vapor de agua. Sin embargo, las combustiones reales ocurren normalmente en presencia de aire (no de oxígeno puro), los combustibles tienen adicionalmente otros elementos (como por ejemplo azufre) y la combustión puede ser incompleta. Por ende, además de las emisiones señaladas –que continúan siendo en general mayoritarias– se emiten otros compuestos entre los que se cuenta el resto de los GEI señalados anteriormente.

La certeza en la estimación de las emisiones de CO₂ es en general mayor, ya que ella depende más de las características del combustible (contenido de carbono del mismo, cantidad combustionada y fracción oxidada), que de las condiciones particulares de la combustión (tipo de tecnología usada, condiciones de operación y mantenimiento del equipo, equipos de mitigación de emisiones, etc.), como es el caso del resto de los gases, en que para un mismo combustible, las emisiones asociadas pueden variar considerablemente, dependiendo de cada caso particular. Es por ello que para este conjunto de gases una estimación confiable exige un grado de detalle e información considerable, lo que generalmente lleva a hacer supuestos y a utilizar factores promedio o, en algunos casos, los únicos disponibles.

¹¹ En los centros de transformación se llevan a cabo los procesos de extracción, producción y distribución de energía primaria o secundaria. La Comisión Nacional de Energía (CNE) considera los siguientes centros de transformación: electricidad, petróleo y gas natural, gas y coque, carbón y leña, y gas natural-metanol.

¹² Aún cuando el SO₂ no es un gas de efecto invernadero, por simplicidad se lo incluirá cuando se haga alusión a los GEI.

En consecuencia, se consideran dos formas distintas para estimar las emisiones de los GEI: *top-down* y *bottom-up*, respectivamente, por la forma en que se realizan los cálculos. Para el caso del CO₂, se utiliza la *top-down*, a través del enfoque de referencia (*reference approach*), que entrega una estimación en forma rápida, sencilla y relativamente confiable. Dicho enfoque se basa en las características de los combustibles y requiere –en comparación con el método *bottom-up*– poca información, la que es de fácil acceso. En este método lo que interesa fundamentalmente es qué y cuánto se combustiona. Consecuentemente, los resultados de emisiones se presentan clasificados por combustible.

Por su parte, la estimación *bottom-up* del resto de los gases¹³ se basa en factores de emisión que pretenden reflejar las condiciones particulares en que se realizó la combustión en cada uso final. Por lo tanto, en este método además de qué y cuánto se combustiona, interesa saber las condiciones –tecnológicas y otras– en que se realizó la combustión. En consecuencia, los resultados de emisiones de cada gas se presentan clasificados por tipo de usuario (por ejemplo: generación de energía, minería del cobre, transporte caminero, etc.).

Finalmente, de acuerdo a la metodología IPCC, las emisiones de CO₂ producto de la combustión de biomasa se calculan y presentan separadamente, ya que se parte del supuesto que hay un consumo sustentable del recurso, por lo que las emisiones netas son nulas. Cualquier desviación con respecto a este supuesto se calcula en la sección sobre *Cambios en el Uso de la Tierra y Silvicultura* del inventario.

La metodología y el detalle de todos los cálculos y supuestos realizados en este estudio, pueden consultarse en los Anexos C y D.

3.1.2. Sectores considerados

Los sectores estudiados, de acuerdo a las clasificaciones del IPCC y de la fuente oficial de información, la Comisión Nacional de Energía (CNE), fueron los siguientes:

- *Industrias de la Energía*
 - Producción de electricidad y calor
 - Generación de electricidad
 - Refinación de petróleo y gas natural
 - Transformación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas
 - Transformación de gas y coque
 - Carbón y leña
 - Gas natural-metanol

¹³Para fines de comparación con el enfoque *top-down*, también se estiman las emisiones de CO₂ con el método *bottom-up*.

- *Industrias Manufactureras y Construcción*
 - Hierro y acero
 - Hierro
 - Acero
 - Metales no-ferrosos
 - Cobre
 - Industria química
 - Petroquímica
 - Celulosa y papel
 - Procesamiento de alimentos, bebestibles y tabaco
 - Azúcar
 - Otras
 - Cemento
 - Salitre
 - Pesca
 - Industrias y minas varias
- Transporte
 - *Aéreo*
 - *Caminero*
 - *Ferroviario*
 - *Marítimo*
- Comercial, institucional y residencial¹⁴
- Agricultura/silvicultura/pesca
 - Agricultura
 - Pesca

En el Anexo C se incluye una descripción de los procesos y las emisiones de GEI asociadas en la minería del cobre y en la producción de celulosa y papel. Ello se ha estimado conveniente, por una parte, debido a la relevancia de estos sectores en Chile, tanto en términos de consumo de energía –son los dos mayores consumidores industriales de energía– como en términos económicos, y por la otra, como aporte metodológico al IPCC, ya que estos subsectores –a diferencia del resto de los considerados explícitamente en la metodología– no están presentes en todos los países. Por razones presupuestarias y de tiempo, no fue posible en esta etapa determinar factores de emisión nacionales, utilizándose los factores de emisión por defecto del IPCC y de la literatura internacional. Sin embargo, dado que se presenta el detalle de los cálculos y supuestos realizados, los resultados podrán ser fácilmente modificados cuando se cuente con los datos de emisiones unitarias específicas del país. Igualmente, dicho detalle permitirá a otros países que cuentan con estas industrias, el realizar la estimación de emisiones para estas actividades.

¹⁴ Hasta 1996, las estadísticas de la CNE no permiten hacer una división mayor de estos sectores.

3.1.3. Emisiones de dióxido de carbono

3.1.3.1. Enfoque de referencia

El enfoque de referencia consiste básicamente en determinar el consumo aparente de cada combustible¹⁵, multiplicarlo por el factor de emisión de carbono correspondiente y finalmente, convertir las emisiones de carbono a su equivalente en CO₂, suponiendo que todo el carbono contenido en los combustibles –salvo el almacenado en subproductos y la fracción no oxidada– se transforma en este gas.

La información de base sobre consumo de combustible se obtuvo del “Balance Nacional de Energía 1979-1998/Chile”, que publica la Comisión Nacional de Energía (CNE, s.f.). Por su parte, los factores de emisión utilizados corresponden a los valores por defecto del IPCC (IPCC, 1996), ya que al igual que para el resto de los sectores objeto de este estudio, no se dispone de factores nacionales apropiados.

Los cuadros siguientes resumen los resultados por tipo de combustible.

¹⁵ El consumo aparente de un combustible se calcula con la siguiente ecuación:

Consumo aparente = producción+importaciones-exportaciones-bunkers internacionales-cambios de stock.

Cuadro 1: Consumos aparentes por tipo de combustible, Chile 1986-1998
Enfoque de referencia
(TJ)

Combustibles ⁽¹⁾	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Líquidos fósiles													
Petróleo Crudo	165.172	180.255	208.184	224.913	257.608	265.750	273.673	292.248	311.710	333.287	346.648	363.615	394.202
Gasolina	5.871	3.715	3.938	-5.425	-2.876	-1.253	3.886	-1.376	4.940	7.112	13.595	12.175	12.788
Gasolina de Aviación ⁽³⁾	-163	-103	-84	-386	-362	-298	-338	-183	-477	-219	-143	-91	-175
Kerosene de Aviación ⁽³⁾	-3.047	-3.973	-2.235	-5.035	-3.962	-5.374	-4.244	-3.027	-7.163	-5.732	-5.600	-10.178	-6.089
Otro Kerosene	971	1.468	171	215	32	-672	-155	263	263	-52	211	2.100	88
Gas/Petróleo Diesel ⁽³⁾	7.816	9.749	6.794	7.855	6.527	5.378	9.311	13.678	14.442	16.729	22.803	38.036	15.015
Petróleos Combustibles ⁽³⁾	-517	-1.404	-2.876	-6.642	-10.035	-4.693	-4.280	986	3.110	4.184	10.485	8.548	1.484
LPG	124	207	3.022	3.440	6.180	9.326	10.562	12.145	14.492	16.964	19.670	21.312	23.264
Nafta	16	20	0	-8	0	0	28	-1.281	-597	-362	-3.230	-6.523	-10.234
Mat. Prima de Refinería ⁽⁴⁾	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal líquidos fósiles	176.242	189.932	216.914	218.927	253.112	268.163	288.443	313.453	340.719	371.913	404.437	428.994	430.341
Sólidos fósiles													
Carbón Coquificable	5.976	5.856	5.291	7.996	9.418	11.746	10.702	7.260	14.657	13.544	13.801	11.729	12.192
Otro Carbón Bituminoso	36.909	36.039	49.594	65.650	74.252	49.232	44.843	51.324	53.397	62.031	95.567	133.257	125.218
Carbón Subbituminoso	4.817	7.299	13.627	18.969	19.923	24.135	18.046	15.663	19.517	18.833	21.454	25.321	22.831
Coque Horno/Gas Coque	1.241	1.257	3.083	2.036	1.074	-1.881	553	716	1.758	3.858	3.970	3.524	4.045
Gas Corriente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gas de Alto Horno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal sólidos fósiles	48.943	50.450	71.594	94.652	104.667	83.232	74.144	74.963	89.330	98.267	134.792	173.831	164.285
Gaseosos fósiles													
Gas Natural (seco)	40.816	40.488	41.209	42.448	41.495	42.181	42.881	41.946	41.441	39.483	39.422	27.368	52.570
Subtotal gaseosos fósiles	40.816	40.488	41.209	42.448	41.495	42.181	42.881	41.946	41.441	39.483	39.422	27.368	52.570
Total	266.001	280.871	329.718	356.027	399.274	393.577	405.468	430.362	471.491	509.663	578.651	630.194	647.196

Notas: 1: Se ha utilizado la clasificación del IPCC. De acuerdo al Vol. 1, Reporting Instructions, p. 1.18, IPCC (1995), el *Gas corriente* y el *Gas de alto horno* deben incluirse bajo *Sólidos*.

2: Las cifras en CNE (s.f.) están expresadas en poder calorífico superior (PCS), por lo que, de acuerdo a la metodología, fue necesario transformarlas a poder calorífico inferior (PCI), utilizando para ello los coeficientes propuestos en IPCC (1996), que son 0,95 para los combustibles líquidos, sólidos y biomasa, y 0,9 para los gaseosos.

3: Se han restado los consumos de bunkers marinos y aéreos internacionales.

4: De acuerdo al IPCC, el metanol producido a partir de gas natural debe considerarse en el ítem *Materia prima de refinería*.

Fuente: Elaboración propia en base a CNE e IPCC (1996).

Cuadro 2: Emisiones de CO₂ por tipo de combustible, Chile 1986-1998
Enfoque de referencia
(Gg)

Combustibles	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Líquidos fósiles													
Petróleo Crudo	11.991	13.086	15.114	16.329	18.702	19.293	19.869	21.217	22.630	24.197	25.167	26.398	28.619
Gasolina	403	255	270	-372	-197	-86	267	-94	339	488	933	835	877
Gasolina de Aviación	-11	-7	-6	-26	-25	-20	-23	-13	-33	-15	-10	-6	-12
Kerosene de Aviación	-216	-281	-158	-356	-280	-380	-300	-214	-507	-406	-396	-720	-431
Otro Kerosene	69	104	12	15	2	-48	-11	19	19	-4	15	149	6
Gas/Petróleo Diesel	573	715	498	576	479	394	683	1.003	1.059	1.227	1.672	2.789	1.101
Petróleos Combustibles	-40	-108	-220	-509	-769	-359	-328	76	238	320	803	655	114
LPG	8	13	190	216	388	585	663	762	909	1.065	1.234	1.337	1.460
Nafta	1	1	0	-1	0	0	2	-93	-43	-26	-234	-474	-743
Mat. Prima de Refinería	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal líquidos fósiles	12.779	13.779	15.700	15.871	18.300	19.379	20.820	22.662	24.611	26.846	29.183	30.964	30.991
Sólidos fósiles													
Carbón Coquificable	529	518	468	708	834	1.040	948	643	1.298	1.199	1.222	1.038	1.079
Otro Carbón Bituminoso	3.422	3.341	4.598	6.086	6.884	4.564	4.157	4.758	4.950	5.751	8.860	12.354	11.609
Carbón Subbituminoso	453	687	1.283	1.786	1.876	2.272	1.699	1.475	1.837	1.773	2.020	2.384	2.149
Coque Horno/Gas Coque	132	133	327	216	114	-199	59	76	186	409	421	374	429
Gas Corriente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gas de Alto Horno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subtotal sólidos fósiles	4.536	4.680	6.676	8.796	9.707	7.677	6.862	6.951	8.272	9.132	12.522	16.150	15.266
Gaseosos fósiles													
Gas Natural (seco)	2.278	2.260	2.300	2.369	2.316	2.355	2.394	2.341	2.313	2.204	2.201	1.528	2.934
Subtotal gaseosos fósiles	2.278	2.260	2.300	2.369	2.316	2.355	2.394	2.341	2.313	2.204	2.201	1.528	2.934
Total	19.593	20.719	24.676	27.037	30.323	29.410	30.076	31.955	35.196	38.182	43.906	48.642	49.192

Fuente: Elaboración propia en base a CNE e IPCC (1996).

La figura siguiente muestra las emisiones de CO₂ totales durante el período 1986-1998 (enfoque de referencia). Como se señaló anteriormente, debido a la sequía del año 1990 fue necesario aumentar la generación termoeléctrica, lo que se tradujo en un aumento de las emisiones de CO₂ por sobre la tendencia histórica.

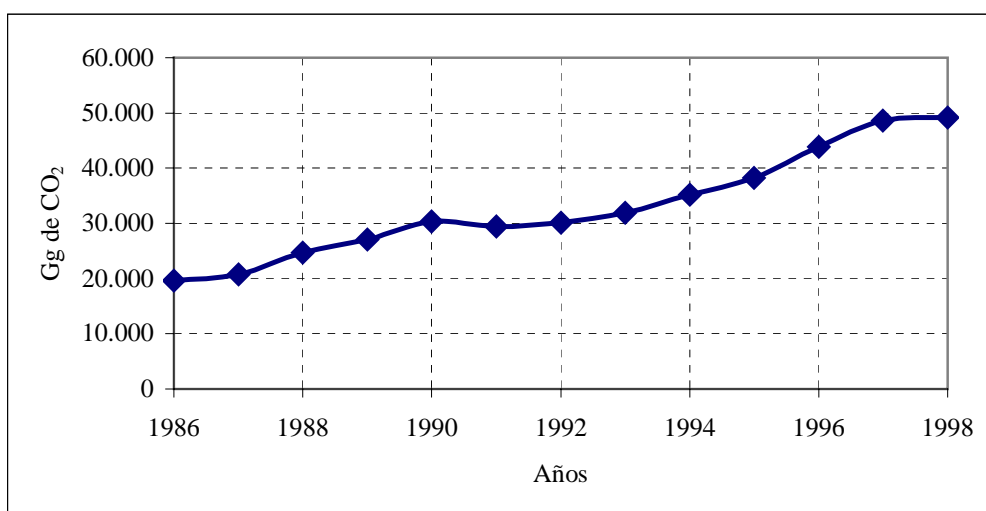


Figura 2. Emisiones de CO₂ totales, 1986-1998. Enfoque de referencia.

3.1.3.2. Enfoque basado en usos finales

En este enfoque, el cálculo de emisiones se realizó considerando el consumo de combustibles en cada uno de los usos finales. Para el sector transporte, en que existían factores de emisión de CO₂ específicos por combustible y tecnología, se multiplicó dicho factor unitario por el consumo del combustible en el uso correspondiente. Para el resto de los sectores, dado que no existían dichos factores, se utilizó el mismo método que en el enfoque de referencia, es decir, se consideró el consumo, el factor de emisión y la fracción oxidada de carbono de cada combustible, multiplicándose por el factor de conversión de carbono a dióxido de carbono.

Las fuentes de información generales utilizadas fueron el Balance de Energía de la CNE (CNE, s.f.), estudios del PRIEN (1996a, 1996b, 1997), información de las empresas y la guía IPCC (1995 y 1996). Ante la carencia de factores de emisión nacionales, se utilizaron los valores por defecto del IPCC. Cabe destacar la valiosa cooperación de la Comisión Chilena del Cobre, quien entregó los antecedentes de base para el estudio del subsector cobre.

3.1.3.2.1. Fuentes fijas y móviles

Los cuadros siguientes resumen el consumo de energía por uso final y las emisiones de CO₂.

Cuadro 3: Consumo de energía, Chile 1986-1998
Enfoque de usos finales
(TJ)

Sectores	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Industria de la energía	63.094	61.757	82.468	110.340	129.758	103.049	90.200	93.056	114.794	112.771	162.667	175.791	215.074
Industrias Manufactureras y Construcción	78.491	79.418	88.725	97.389	87.366	91.933	101.388	109.914	108.913	124.708	132.818	173.734	149.772
Transporte	90.274	97.130	109.225	117.201	124.843	129.060	139.237	153.068	170.377	186.048	200.487	212.352	225.082
Comercial, Institucional y Residencial	36.234	36.968	40.253	43.020	45.035	48.033	55.412	57.641	60.690	61.810	58.546	65.315	57.263
Agricultura y Pesca	1.327	1.484	1.699	1.788	6.849	9.403	9.538	9.706	9.903	8.591	13.059	14.768	10.539
Total	269.419	276.757	322.368	369.738	393.851	381.478	395.776	423.384	464.677	493.928	567.578	641.960	657.729

Notas: Los consumos en autogeneración de electricidad se contabilizan en cada sector usuario y no en forma agregada en *Industrias de la Energía*, de acuerdo a lo señalado en IPCC (1996).

Fuente: Anexo A.

Cuadro 4: CO₂ emitido, Chile 1986-1998
Enfoque de usos finales
(Gg)

Sectores	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Industria de la energía	4.976	4.888	6.797	9.250	10.841	8.537	7.367	7.676	9.702	9.492	13.901	15.166	17.642
Industrias Manufactureras y Construcción	6.637	6.711	7.513	8.084	7.289	7.699	8.578	9.144	9.021	10.227	10.888	14.046	11.985
Transporte	6.537	7.032	7.909	8.486	9.056	9.374	10.107	11.107	12.357	13.492	14.537	15.399	16.324
Comercial, Institucional y Residencial	2.414	2.464	2.683	2.867	2.999	3.192	3.708	3.836	4.050	4.104	3.839	4.327	3.731
Agricultura y Pesca	99	111	127	134	547	770	774	777	787	672	1.044	1.154	812
Total	20.663	21.206	25.029	28.822	30.732	29.572	30.534	32.541	35.917	37.987	44.209	50.092	50.494

Notas: De acuerdo a lo señalado en IPCC (1996), los totales de CO₂ no incluyen las emisiones por consumo de biomasa.

Fuente: Anexos A

En la figura siguiente se aprecian las emisiones de los principales subsectores en 1998 y su incidencia en el porcentaje acumulado.

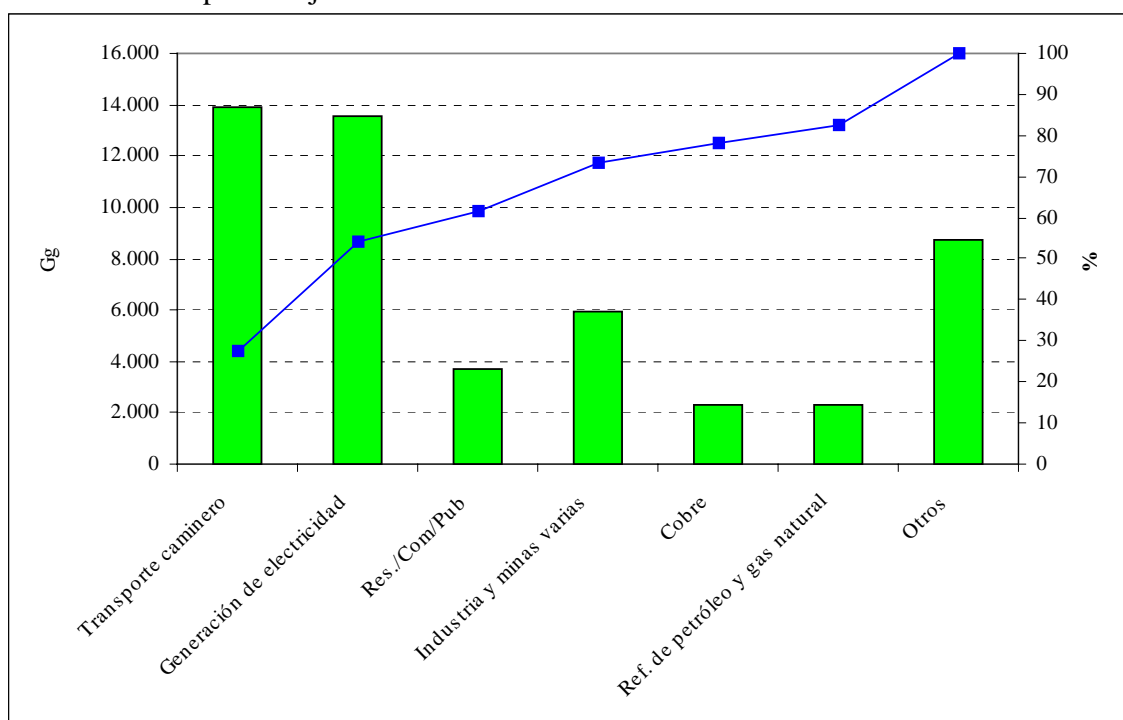


Figura 3: Principales emisores de CO₂, sector energía, 1998
Emisiones totales (Gg) y en porcentaje (%)

Cabe recordar que, por razones metodológicas, en las cifras anteriores no han sido consideradas las emisiones de CO₂ producto de la quema de biomasa, las que se detallan en el punto 3.1.3.3.

3.1.3.3. Emisiones por consumo de biomasa

De acuerdo a la metodología IPCC, las emisiones por consumo de biomasa no deben sumarse a aquéllas producto de la combustión del resto de los combustibles. Ello se basa en que si el consumo está equilibrado con la producción de biomasa, las emisiones netas debieran ser cero.

Las emisiones se calcularon utilizando tanto el enfoque de referencia como el de usos finales. Los resultados se presentan en los cuadros siguientes.

Cuadro 5: Consumo aparente de biomasa, Chile 1986-1998
Enfoque de referencia
(TJ)

Biomasa	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Sólida y líquida	91.688	95.777	99.222	99.806	105.812	118.333	131.248	121.543	127.597	136.435	146.271	145.611	156.306
Gaseosa	441	482	614	705	663	716	814	870	987	1.277	1.164	927	381
Total biomasa	92.129	96.260	99.836	100.511	106.476	119.049	132.062	122.414	128.584	137.712	147.435	146.538	156.687

Nota: La información oficial no detalla consumos de biomasa líquida, siendo incluido el licor negro bajo *Leña y otros*. En esta tabla, el ítem *Biomasa sólida* corresponde a *Leña y otros*.

Fuente: Elaboración propia en base a CNE e IPCC (1996).

Cuadro 6: CO₂ emitido por consumo de biomasa, Chile 1986-1998
Enfoque de referencia
(Gg)

Biomasa	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Sólida y líquida	9.047	9.450	9.790	9.848	10.441	11.676	12.950	12.004	12.590	13.462	14.433	14.367	15.423
Gaseosa	49	54	69	79	74	80	91	97	1.107	143	130	103	42
Total biomasa	9.096	9.504	9.859	9.927	10.515	11.756	13.041	12.102	13.697	13.605	14.563	14.471	15.465

Fuente: Elaboración propia en base a CNE e IPCC (1996).

Cuadro 7: Consumo de biomasa, Chile 1986-1998
Enfoque de usos finales
(TJ)

Biomasa	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Sólida y líquida	85.900	89.737	93.654	96.279	99.402	108.606	128.522	134.864	142.377	154.852	161.969	165.051	167.758
Gaseosa	441	482	614	705	663	716	814	870	987	1.277	1.164	927	381
Total	86.341	90.220	94.268	96.983	100.066	109.322	129.336	135.734	143.364	156.129	163.133	165.978	168.139

Fuente: Anexo A.

Cuadro 8: CO₂ emitido por consumo de biomasa, Chile 1986-1998
Enfoque de usos finales
(Gg)

Biomasa	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Sólida y líquida	8.573	8.954	9.343	9.595	9.899	10.847	12.892	13.531	14.284	15.550	16.253	16.548	16.831
Gaseosa	49	54	69	79	74	80	91	97	110	143	130	103	42
Total	8.623	9.008	9.412	9.674	9.973	10.927	12.983	13.628	14.394	15.693	16.383	16.652	16.873

Fuente: Anexo A.

La diferencia entre ambos enfoques se explica principalmente por la discrepancia entre las cifras oficiales de la CNE –utilizadas en el enfoque de referencia– y las recabadas directamente de las empresas productoras de celulosa –utilizadas en el enfoque de usos finales– en lo que respecta a la cuantificación de la leña, derivados y licor negro que tienen un uso energético.

A pesar de la importancia que tiene el consumo de biomasa –especialmente leña– en el país, su cuantificación es aún imprecisa. Igual cosa sucede con la cuantificación de las existencias y regeneración de recursos leñosos. Ambos hechos impiden realizar actualmente un balance exacto con el fin de determinar si efectivamente las emisiones netas vinculadas al consumo de leña son nulas.

3.1.4. Emisiones de otros gases de efecto invernadero

Como fuera mencionado en el punto 3.1.1, el grado de certeza de la estimación de emisiones de gases distintos al CO₂ es inferior que la realizada para éste, dado que al hacer un inventario nacional no se dispone de la información sobre condiciones de consumo específicas por equipo, debiéndose usar factores de emisión promedio.

En los cuadros siguientes se entrega el consumo de energía por sector y las emisiones de los gases diferentes del CO₂.

Cuadro 9: Consumo de energía por sector. Chile 1986-1998
(TJ)

Sectores	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Industria de la energía	63.535	62.239	83.082	111.044	130.421	103.765	91.014	93.946	115.805	114.048	163.831	176.718	215.455
Industrias Manufactureras y Construcción	102.582	104.247	114.229	122.094	111.531	121.534	147.732	158.479	159.801	182.637	192.064	230.928	209.690
Transporte	90.273	97.130	109.225	117.201	124.843	129.060	139.237	153.068	170.377	186.048	200.487	212.352	225.082
Comercial, Institucional y Residencial	98.043	101.877	108.402	114.594	120.273	127.037	137.590	143.920	152.156	158.733	161.268	173.172	165.104
Agricultura y Pesca	1.327	1.484	1.699	1.788	6.849	9.403	9.538	9.706	9.903	8.591	13.059	14.768	10.539
Total	355.760	366.977	416.637	466.722	493.917	490.799	525.112	559.118	608.041	650.057	730.711	807.938	825.868

Notas: incluye consumo de biomasa.

Fuente: Anexo B.

Cuadro 10: Emisiones de CO por sector. Chile 1986-1998
(Gg)

Sectores	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Industria de la energía	1,64	1,66	2,20	2,81	3,14	2,68	2,53	2,66	3,21	3,46	4,28	4,33	4,57
Industrias Manufactureras y Construcción	18,95	19,61	20,80	21,66	22,26	22,51	30,37	35,29	35,37	36,83	39,79	42,65	41,98
Transporte	243,18	256,19	285,61	310,81	321,17	331,38	364,07	347,97	377,83	376,28	363,49	340,89	322,95
Comercial, Institucional y Residencial	314,70	330,91	347,68	364,80	382,85	401,81	418,96	438,06	464,48	491,75	520,98	547,17	546,65
Agricultura y Pesca	0,80	0,89	1,02	1,07	0,80	7,93	7,23	6,65	6,01	4,38	8,45	6,76	4,45
Total	579,26	609,26	657,32	701,15	730,21	766,32	823,15	830,63	886,90	912,70	936,99	941,80	920,60

Fuente: Anexo B

Cuadro 11: Emisiones de CH₄ por sector. Chile 1986-1998
(Gg)

Sectores	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Industria de la energía	0,10	0,10	0,13	0,17	0,20	0,16	0,15	0,15	0,18	0,18	0,25	0,25	0,27
Industrias Manufactureras y Construcción	1,53	1,56	1,64	1,61	1,52	1,92	2,86	2,47	3,22	3,57	3,65	3,81	3,81
Transporte	1,15	1,21	1,36	1,47	1,69	1,78	1,86	1,79	2,03	2,08	2,06	1,98	1,95
Comercial, Institucional y Residencial	19,57	20,62	21,69	22,73	23,81	24,97	26,16	27,20	28,85	30,49	32,24	33,90	33,77
Agricultura y Pesca	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	1,08	0,96	0,82	0,74	0,46	1,07	0,82	0,43
Total	22,37	23,51	24,83	26,01	27,23	29,92	32,00	32,44	35,02	36,78	39,27	40,77	40,24

Fuente: Anexo B.

Cuadro 12: Emisiones de NO_x por sector. Chile 1986-1998
(Gg)

Sectores	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Industria de la energía	14,62	14,46	20,51	27,77	33,12	25,77	21,89	22,88	29,42	29,46	43,13	47,36	54,74
Industrias Manufactureras y Construcción	25,91	26,26	28,79	37,31	30,59	31,53	40,83	42,22	43,50	42,62	45,00	56,62	53,49
Transporte	42,83	46,07	52,50	55,80	63,70	68,67	71,49	68,86	74,58	91,84	97,56	102,29	107,90
Comercial, Institucional y Residencial	9,52	9,92	10,55	11,16	11,71	12,37	13,42	14,04	14,86	15,50	15,75	16,91	16,11
Agricultura y Pesca	1,99	2,23	2,55	2,68	1,99	3,45	3,65	4,67	4,57	4,85	5,65	6,06	5,92
Total	94,88	98,94	114,91	134,73	141,11	141,80	151,28	152,67	166,94	184,26	207,08	229,23	238,17

Fuente: Anexo B

Cuadro 13: Emisiones de N₂O por sector. Chile 1986-1998
(Gg)

Sectores	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Industria de la energía	0,05	0,05	0,08	0,11	0,13	0,10	0,09	0,09	0,12	0,12	0,18	0,20	0,22
Industrias Manufactureras y Construcción	0,11	0,11	0,12	0,13	0,12	0,12	0,15	0,14	0,16	0,18	0,19	0,23	0,21
Transporte	0,22	0,23	0,26	0,28	0,30	0,31	0,33	0,77	1,02	1,46	2,01	2,52	3,00
Comercial, Institucional y Residencial	0,27	0,28	0,30	0,31	0,33	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,47	0,46
Agricultura y Pesca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Total	0,65	0,68	0,76	0,84	0,88	0,89	0,94	1,40	1,71	2,20	2,85	3,43	3,91

Fuente: Anexo B.

Cuadro 14: emisiones de COVNM por sector. Chile 1986-1998
(Gg)

Sectores	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Industria de la energía	0,34	0,33	0,44	0,59	0,68	0,55	0,49	0,51	0,62	0,63	0,87	0,93	1,09
Industrias Manufactureras y Construcción	1,51	1,54	1,66	1,75	1,81	1,82	2,19	2,09	2,40	2,73	2,89	3,52	3,52
Transporte	47,99	50,70	56,70	61,61	63,75	65,84	72,31	67,74	74,12	73,06	69,46	63,95	59,32
Comercial, Institucional y Residencial	37,74	39,67	41,68	43,74	45,92	48,20	50,25	52,58	55,75	59,02	62,51	65,66	65,59
Agricultura y Pesca	0,31	0,34	0,39	0,41	0,31	1,11	1,06	1,13	1,05	0,93	1,39	1,26	1,05
Total	87,88	92,59	100,87	108,10	112,46	117,51	126,30	124,04	133,94	136,38	137,12	135,31	130,58

Fuente: Anexo B.

Cuadro 15: emisiones de SO₂ por sector. Chile 1986-1998
(Gg)

Sectores	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Industria de la energía	23,44	22,96	41,28	67,02	77,12	53,33	39,68	36,60	58,79	62,41	101,84	116,78	123,12
Industrias Manufactureras y Construcción	42,88	42,54	46,53	49,30	44,38	45,24	52,69	53,94	50,32	55,05	56,36	78,41	58,70
Transporte	2,51	2,69	3,06	3,70	4,36	4,49	4,99	5,88	6,45	7,33	6,80	7,50	8,75
Comercial, Institucional y Residencial	18,86	19,88	21,06	22,15	23,20	24,11	25,60	25,89	27,80	29,45	30,91	34,41	31,83
Agricultura y Pesca	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05	5,72	5,57	5,02	5,00	3,70	6,87	6,51	3,58
Total	87,73	88,12	112,00	142,24	149,11	132,88	128,54	127,34	148,35	157,94	202,78	243,61	225,98

Fuente: Anexo B.

3.2. EMISIONES FUGITIVAS

En este capítulo se presentan las emisiones de metano que se producen en la minería del carbón y en la explotación de petróleo y gas natural, así como las emisiones de SO₂ y de precursores de ozono en la refinación de petróleo.

3.2.1. Emisiones de metano producto de la minería del carbón

En el proceso de formación del carbón se generan metano y otros subproductos. La cantidad de metano generada es función del grado del carbón (antracita, bituminoso, sub-bituminoso, etc.). Una vez generado, la cantidad de metano es función de la presión y temperatura del filón de carbón, y de otras características menos definidas. El metano permanecerá en el carbón hasta que se reduzca la presión sobre el carbón, lo que puede ocurrir a través de la erosión de los estratos superiores o durante el proceso de minería del carbón¹⁶.

La cantidad de metano generado durante la extracción de carbón es fundamentalmente función del grado del carbón y su profundidad, como también de otros factores tales como la humedad. Dado que a mayor presión (y por ende a mayor profundidad del yacimiento), mayor es la cantidad de metano que puede contener el carbón, la principal fuente de metano proviene de las minas subterráneas y no de las a tajo abierto.

También se emite metano durante las actividades post-mineras, tales como el procesamiento, transporte y utilización de carbón.

La metodología de estimación utilizada corresponde a la IPCC, basada, al igual que para el resto de los sectores, en factores de emisión por tipo de actividad.

Las cifras sobre carbón producido en cada tipo de mina se obtuvo del Anuario Estadístico del SERNAGEOMIN, mientras que los factores de emisión corresponden a los valores medios indicados en IPCC (1996).

Los Cuadros 16 y 17 resumen la producción de carbón y las emisiones asociadas a su explotación.

¹⁶ Basado en IPCC (1995).

Cuadro 16: Producción por región de carbón, Chile 1986-1998
(ton)

	VIII	X	XII
1985	1.236.590	133.170	0
1986	1.323.020	118.000	0
1987	1.305.250	137.910	292.990
1988	1.436.150	136.070	898.200
1989	1.267.470	143.630	992.450
1990	1.467.890	129.640	1.131.870
1991	1.341.530	136.190	1.262.847
1992	977.780	155.420	974.888
1993	792.680	179.120	821.268
1994	480.820	148.720	1.033.420
1995	361.550	141.830	981.490
1996	233.600	143.430	1.067.050
1997	134.440	116.430	1.162.300
1998	121.048	104.832	1.046.515

Fuente: Anuario Sernageomin.

Cuadro 17: Emisiones de metano en la minería del carbón, Chile 1986-1998
(Gg)

Años	Subterránea		Tajo abierto		Total
	Minería	Post-minería	Minería	Post-minería	
1986	16,90	2,37	0,00	0,00	19,26
1987	16,92	2,37	0,23	0,02	19,54
1988	18,43	2,58	0,69	0,06	21,77
1989	16,55	2,32	0,76	0,07	19,69
1990	18,73	2,62	0,87	0,08	22,30
1991	17,33	2,43	0,97	0,08	20,81
1992	13,29	1,86	0,75	0,07	15,96
1993	11,98	1,68	0,63	0,06	14,35
1994	7,43	1,04	0,80	0,07	9,34
1995	5,90	0,83	0,76	0,07	7,55
1996	4,42	0,62	0,82	0,07	5,93
1997	2,94	0,41	0,90	0,08	4,33
1998	2,65	0,37	0,81	0,07	3,90

Fuente: Elaboración propia en base a SERNAGEOMIN e IPCC(1996).

Como se desprende del cuadro anterior, las minas subterráneas son las más relevantes en las emisiones de metano. A su vez, en dichas minas las actividades de la etapa minera representan alrededor de un 87% de las emisiones.

3.2.2. Emisiones de metano producto de la explotación de petróleo y gas natural

Tal como establece la metodología del IPCC, en esta sección se incluyen las emisiones derivadas de la producción, procesamiento, transporte y combustión no productiva de petróleo y gas natural. Se excluye el uso de petróleo, gas natural y derivados para proveer energía para uso interno, y para el procesamiento y transporte involucrados en la producción de energía, ya que ellos se consideran en la sección correspondiente a combustión.

Las emisiones provienen de las siguientes fuentes:

- las emisiones durante la cadena productiva, tales como emisiones asociadas al venteo y quema durante la producción de petróleo y gas, fugas crónicas o venteos del proceso;
- emisiones durante reparaciones y mantenimientos; y
- emisiones durante fallas y accidentes.

La metodología de cálculo de emisiones es análoga a la señalada en la sección anterior.

Los cuadros siguientes resumen los resultados obtenidos. La fuente de información es el Balance de energía 1979-1998 (CNE). Los factores de emisión corresponden a los valores medios indicados en IPCC (1996).

Cuadro 18: Nivel de actividad en la explotación de petróleo y gas natural
Chile 1986-1998
(PJ)

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Petróleo													
Producción	69,78	61,86	49,60	44,36	39,55	35,51	28,99	31,52	27,71	23,48	17,00	12,69	11,41
Transporte	69,78	61,86	49,60	44,36	39,55	35,51	28,99	27,18	28,37	23,48	17,00	12,69	11,41
Refinación	174,80	190,59	219,59	260,80	271,36	280,01	288,09	307,66	332,49	350,57	360,89	382,35	414,49
Almacenamiento	174,80	190,59	219,59	260,80	271,36	280,01	288,09	307,66	332,49	350,57	360,89	382,35	414,49
Gas Natural													
Producción	55,05	53,37	62,07	82,85	87,62	74,16	82,41	81,30	89,50	85,40	86,43	63,98	48,00
Transporte y distribución	27,51	26,67	37,51	58,48	62,78	54,36	62,28	81,30	89,50	61,04	61,48	95,71	133,13
Venteo y quema													
Petróleo	69,78	61,86	49,60	44,36	39,55	35,51	28,99	31,52	27,71	23,48	17,00	12,69	11,41
Gas Natural	55,05	53,37	62,07	82,85	87,62	74,16	82,41	81,30	89,50	85,40	86,43	63,98	48,00

Fuente: Elaboración propia en base a Balance de energía CNE.

Cuadro 19: Emisiones de metano en la explotación de petróleo y gas natural
Chile 1986-1998
(Gg)

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Petróleo													
Producción	0,18	0,16	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,03
Transporte	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Refinación	0,13	0,14	0,16	0,19	0,20	0,21	0,21	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,31
Almacenamiento	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06
Subtotal	0,39	0,38	0,36	0,38	0,37	0,37	0,35	0,37	0,38	0,39	0,38	0,38	0,40
Gas Natural													
Producción	3,91	3,79	4,41	5,88	6,22	5,27	5,85	5,77	6,35	6,06	6,14	4,54	3,41
Transporte y distribución	3,25	3,15	4,43	6,90	7,41	6,41	7,35	7,08	7,40	7,20	7,26	11,29	15,71
Subtotal	7,15	6,94	8,83	12,78	13,63	11,68	13,20	12,85	13,75	13,27	13,39	15,84	19,12
Venteo y quema													
Petróleo	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02
Gas Natural	10,57	10,25	11,92	15,91	16,82	14,24	15,82	15,61	17,18	16,40	16,60	12,28	9,22
Total	18,25	17,68	21,21	29,16	30,91	26,36	29,43	28,89	31,37	30,10	30,40	28,53	28,76

Fuente: Elaboración propia en base a CNE e IPCC (1996).

Del cuadro se concluye que casi la totalidad de emisiones fugitivas de metano se deben al gas natural, repartiéndose en porcentajes similares entre (i) producción/procesamiento y transmisión/distribución, y (ii) venteo y quema durante la producción

3.2.3. Precursores de ozono y emisiones de SO₂ provenientes de la refinación de petróleo

En una refinería básica de petróleo¹⁷ se convierte el crudo en una variedad de subproductos, tales como combustibles líquidos, coque de petróleo, petroquímicos primarios (tales como el etileno), etc.

Los procesos involucrados en la refinación del petróleo pueden ser fuente de emisiones de SO₂, NO_x, CO y COVNM, las cuales no provienen de la combustión. Así por ejemplo, se ha identificado a la destilación al vacío, al cracking catalítico, a la desulfurización, a los sistemas de purgas, a la recuperación de azufre y al soplado de asfalto como potenciales fuentes importantes de SO₂ y de COVNM. Por su parte, el almacenamiento y manejo de productos intermedios y finales del petróleo pueden ser fuente de emisiones de COVNM.

Para estimar dichas emisiones, se utilizó la metodología simple, la cual consiste en multiplicar la cantidad total de crudo procesado por factores de emisión globales. La información de base se obtuvo del Balance de Energía de la CNE (s.f.) y del IPCC (1996).

El cuadro siguiente resume las emisiones.

¹⁷ Se entiende por refinería básica de petróleo aquella en que no se realiza la síntesis de productos petroquímicos.

Cuadro 20: Emisiones de precursores de ozono y de SO₂ provenientes de la refinación de petróleo
Chile 1986-1998
(Gg)

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Petróleo crudo procesado en kton	3.840	4.187	4.823	5.729	5.961	6.151	6.328	6.758	7.204	7.700	7.927	8.399	9.104
Emisiones													
CO	0,36	0,39	0,45	0,54	0,56	0,58	0,72	0,63	0,68	0,72	0,74	0,79	0,85
NO _x	0,23	0,25	0,28	0,34	0,35	0,36	0,45	0,40	0,42	0,45	0,46	0,49	0,53
COVNM	2,39	2,60	3,00	3,56	3,71	3,82	4,79	4,20	4,48	4,79	4,93	5,22	5,66
SO ₂	3,60	3,93	4,53	5,38	5,59	5,77	7,23	6,34	6,76	7,23	7,44	7,88	8,54

Fuente: Elaboración propia en base Balance CNE e IPCC.

4. PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE SOLVENTES

4.1. PROCESOS INDUSTRIALES

4.1.1. Introducción

En este capítulo se resumen las emisiones de GEI como producto de las actividades industriales, no provenientes de la combustión de energéticos. Las principales fuentes de emisión son los procesos industriales que transforman insumos tanto física como químicamente. Las fuentes emisoras estudiadas, relevantes para Chile, son la producción y/o uso de cemento, hierro y acero, cobre y papel y celulosa.

En las secciones siguientes se resumen los resultados de emisiones para cada fuente señalada. Las clasificaciones corresponden a las señaladas en la guía IPCC.

4.1.2. Cemento

Durante la producción de clinker –un producto intermedio del cual se hace el cemento– se emite dióxido de carbono. Las altas temperaturas en los hornos rotatorios transforman químicamente las materias primas (carbonato de calcio y otros compuestos) en clinker.

Existen también emisiones de SO₂, provenientes del azufre en el combustible de los hornos y en la greda usada como materia prima. En esta sección sólo se consideran las emisiones provenientes de la greda, ya que las primeras fueron contabilizadas en el inventario del sector energía.

Las emisiones de CO₂ se estimaron a partir de la producción de cemento, de una relación media de clinker/cemento de 0,65 y de un factor de emisión ponderado de 0,60 tCO₂/tclinker. En el caso del SO₂ se usó un factor de emisión por defecto de 0,30 kgSO₂/t cemento producido.

Los resultados se presentan en el cuadro siguiente:

Cuadro 21: Producción de cemento, Chile 1986-1994

	Nacional miles de ton	Exportación miles de ton	Total miles de ton	clinker/cemento %/1
1986	1.434	3	1.437	0,677
1987	1.594	24	1.618	0,677
1988	1.839	44	1.883	0,649
1989	1.960	47	2.007	0,649
1990	2.017	51	2.068	0,649
1991	2.161	74	2.235	0,649
1992	2.622	37	2.659	0,649
1993	3.020	2	3.022	0,649
1994	2.995	0	2.995	0,649
1995	3.275	0	3.275	0,649
1996	3.634	0	3.634	0,649
1997	3.736	0	3.736	0,649
1998	3.848	0	3.848	0,649

Fuente: Instituto Chileno del Cemento e información de las empresas.

Cuadro 22. Emisiones de CO₂ y SO₂ de la producción de cemento
Chile 1986-1998
(Gg)

Años	CO ₂	SO ₂
1986	582,63	0,43
1987	656,02	0,49
1988	710,40	0,55
1989	777,84	0,60
1990	801,48	0,62
1991	866,20	0,67
1992	1.030,53	0,80
1993	1.171,22	0,91
1994	1.160,75	0,90
1995	1.269,27	0,98
1996	1.408,40	1,09
1997	1.447,94	1,12
1998	1.491,34	1,15

Fuente: Elaboración propia en base a IPCC (1996)

4.1.3. Hierro y acero

El cuadro siguiente resume las estimaciones realizadas.

Cuadro 23
Producción de hierro y acero, Chile 1986-1998

	Acero ton	Lingotes ton	Arrabio ton	Coque reductor ton
1986	657.580	671.000	591.151	192.091
1987	671.681	685.389	612.738	195.872
1988	852.240	869.633	775.713	205.693
1989	744.996	760.200	678.859	180.690
1990	721.086	735.802	675.466	212.847
1991	748.132	763.400	703.091	209.170
1992	944.328	963.600	865.313	267.237
1993	1.001.952	1.022.400	917.093	280.630
1994	977.256	997.200	885.514	237.613
1995	931.098	950.100	854.140	235.078
1996	1.119.735	1.104.541	996.296	267.505
1997	1.066.700	1.087.436	943.894	268.643
1998	1.067.122	1.090.071	993.055	277.062

Fuente: Elaboración propia en base a Compendio de la Minería Chilena, 1997 e información de la Compañía Siderúrgica Huachipato S.A.

Cuadro 24
Emisiones de GEI en la producción de hierro y acero, Chile 1986-1998.
(Gg)

Años	CO ₂	NO _x	COVNM	CO	SO ₂
1986	945,84	0,07	0,09	0,84	1,23
1987	980,38	0,07	0,09	0,87	1,27
1988	1.241,14	0,09	0,12	1,10	1,61
1989	1.086,17	0,08	0,10	0,96	1,41
1990	1.080,75	0,08	0,10	0,95	1,40
1991	1.124,95	0,08	0,11	0,99	1,46
1992	1.384,50	0,10	0,13	1,22	1,80
1993	1.467,35	0,11	0,14	1,30	1,91
1994	1.416,82	0,11	0,14	1,25	1,84
1995	1.366,62	0,10	0,13	1,21	1,78
1996	1.594,07	0,12	0,15	1,41	2,07
1997	1.510,23	0,11	0,15	1,33	1,96
1998	1.588,89	0,12	0,15	1,40	2,06

Fuente: Elaboración propia en base a IPCC (1996).

4.1.4. Cobre¹⁸

En el proceso de refinación de los minerales sulfurados de cobre se emiten cantidades importantes de SO₂, debido a que los minerales tratados están compuestos por sulfuros metálicos los que al ser oxidados en fase líquida permiten separar el hierro en forma de óxidos y silicatos (escoria) y por otra parte eliminar el azufre en fase gaseosa como SO₂.

En el cuadro siguiente se incluyen las emisiones totales de las fundiciones nacionales.

¹⁸ Para la elaboración de esta sección se contó con la valiosa colaboración de la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO).

Cuadro 25: Emisiones de SO₂ en la refinación de minerales de cobre, Chile 1986-1998
(miles de ton métricas)

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
SO ₂ Total generado	2.206,1	2.177,3	2.334,9	2.386,5	2.462,0	2.400,0	2.430,6	2.518,4	2.570,2	2.640,2	2.766,5	2.835,9	2.863,5
Producción H ₂ SO ₄	285,8	264,8	350,8	564,7	660,0	855,6	1.042,0	1.110,3	1.453,5	1.617,6	1.851,4	2.170,4	2.460,9
SO ₂ capturado como ácido	186,6	173,0	229,1	368,8	431,0	558,7	680,5	725,1	949,2	1.056,4	1.209,1	1.417,4	1.607,1
SO₂ Emitido	1.981,5	1.969,0	1.988,1	2.044,7	2.096,9	1.920,0	1.917,2	1.842,6	1.680,3	1.679,6	1.687,8	1.515,8	1.368,3

Fuente: COCHILCO

Cabe destacar que las fundiciones están invirtiendo importantes recursos en sus planes de descontaminación para anhídrido sulfuroso y material particulado. Una vez concluidos dichos planes, las fundiciones estatales quedarán abatiendo alrededor del 90% del azufre ingresado a dichas fundiciones.

Aún cuando se tienen antecedentes que existe un proceso de reducción en la refinación a fuego, en el cual se emitiría CO, no se tienen las cifras que permiten cuantificar dichas emisiones, por lo que no se considerarán en este inventario¹⁹.

4.1.5. Celulosa y papel

La producción de celulosa y papel envuelve tres procesos principales: producción de pulpa, blanqueado y fabricación de papel. El tipo de pulpa y proceso de blanqueado dependen de la materia prima y de la calidad deseada del producto final. En Chile, fundamentalmente la celulosa producida es del tipo Kraft.

Las emisiones de GEI no vinculadas al proceso de combustión, fueron estimadas a partir de los factores de emisión por defecto del IPCC²⁰, y se resumen en los cuadros siguientes.

Cuadro 26 : Producción de celulosa. Chile 1986-1998
(miles de ton)

	Mecánica	Kraft	Sulfito
1986	154	670	24
1987	153	684	24
1988	182	703	25
1989	161	657	23
1990	160	623	22
1991	179	915	19
1992	181	1.482	18
1993	188	1.658	19
1994	189	1.749	15
1995	184	1.909	19
1996	214	1.918	14
1997	209	1.863	5
1998	230	1.980	0

Fuente: Dicelpa e INFOR.

¹⁹ De acuerdo a estimaciones hechas en base a la literatura internacional, suponiendo que la reducción se realiza con kerosene al doble de la relación estequiométrica y que todo el carbono del kerosene se libera como CO, estas emisiones serían del orden de 13 Gg de CO (ver Anexo D del "Inventario de emisiones de gases efecto invernadero sector energía. Chile 1993", PRIEN, Informe final, septiembre 1997).

²⁰ Para la pulpa Kraft se consideraron los siguientes factores de emisión: 1,5 kg NO_x/ADT, 3,7 kg COVNM/ADT, 5,6 kg CO/ADT y 7kg SO₂/ADT y la pulpa al sulfito 30 kg SO₂/ADT.

Cuadro 27: Emisiones de GEI no vinculadas a la combustión,
en Gg de NO_x, COVNM, CO y SO₂

Años	NO _x	COVNM	CO	SO ₂
1986	1,01	2,48	3,75	5,41
1987	1,03	2,53	3,83	5,51
1988	1,05	2,60	2,60	5,67
1989	0,99	2,43	3,68	5,29
1990	0,93	2,31	3,49	5,02
1991	1,37	3,39	5,12	6,98
1992	2,22	5,48	8,30	10,91
1993	2,49	6,13	9,28	12,18
1994	2,62	6,47	9,79	12,69
1995	2,86	7,06	10,69	13,95
1996	2,88	7,10	10,74	13,85
1997	2,79	6,89	10,43	13,19
1998	2,97	7,33	11,09	13,86

Fuente: Elaboración propia en base a IPCC (1996).

4.2. USO DE SOLVENTES

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles²¹ (COV) por uso de solventes, comprenden aquellas correspondientes a: (i) la fabricación y uso de pinturas (uso industrial, habitacional y en pintado de vehículos), y (ii) el uso de solventes en lavasecos y aplicaciones domésticas. Sin embargo, en este punto sólo se entregan las emisiones asociadas a la fabricación y uso de pinturas que son el ítem más relevante.

La información de base provino de los estudios “Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Región Metropolitana para 1997 y Proyecciones al 2005” y del “Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana”, ambos realizados por CONAMA. Los supuestos y cálculos realizados para extrapolar los resultados de dichos estudios a todo el país para el período 86-98 se explicitan en el Anexo D.

Los resultados obtenidos se resumen en el cuadro siguiente:

²¹ La información disponible no permite cuantificar el porcentaje que representan los COVNM en el total de COV en cada una de las fuentes identificadas.

Cuadro 28: Emisiones de COV por uso de solventes, Chile 1986-1998
(Gg)

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Prod. Pinturas	0,60	0,62	0,66	0,73	0,72	0,83	0,96	0,99	1,01	1,18	1,20	1,28	1,19
Uso industrial pinturas	5,83	6,14	6,68	7,41	7,49	7,98	8,86	9,31	9,80	10,54	10,88	11,47	11,30
Uso residencial pinturas	3,14	3,34	3,42	4,00	3,82	4,68	5,79	6,10	6,41	7,82	8,13	7,93	6,88
Pintado autos	4,63	4,73	5,14	5,29	5,70	6,22	6,75	7,35	7,51	8,35	9,09	9,58	10,07
Total	14,21	14,83	15,90	17,42	17,73	19,72	22,35	23,75	24,73	27,88	29,30	30,27	29,44

Fuente: Elaboración propia en base a Anexo D.

5. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

En este informe final preliminar se entrega el cálculo de las emisiones de GEI para el período 1986-1998, incluidas las correspondientes al sector energía, a los procesos industriales y al uso de solventes (pintura industrial, habitacional y vehículos).

A partir de sus resultados es posible identificar las emisiones contaminantes y las fuentes de las mismas, aspectos ambos que habrán de permitir ulteriormente un mejor diseño de políticas de mitigación y focalización de esfuerzos y recursos en los objetivos por éstas perseguidos.

Los resultados relativos a las emisiones del sector energía se obtuvieron siguiendo las dos metodologías propuestas por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): por un lado, el enfoque de referencia, y por el otro, el llamado enfoque de usos finales. El primero de los mencionados consiste básicamente en determinar las emisiones de CO₂ a partir del consumo aparente de cada combustible. El segundo, en cambio, permitió el cálculo de las emisiones considerando el consumo de los combustibles en cada uno de los usos finales.

Las emisiones de GEI provenientes de los procesos industriales y uso de solventes, fueron evaluadas de acuerdo con la metodología del IPCC, con la excepción de las emisiones de SO₂ generadas en la etapa de refinación del cobre (particularmente en la fundición de los concentrados de cobre), cifras que fueron proporcionadas por COCHILCO.

Conviene señalar que existen algunas diferencias entre las emisiones estimadas en el inventario terminado en enero de 1999 debido a que se dispuso en esta oportunidad de mejores cifras de base en algunos sectores.

Debe mencionarse que el consumo correspondiente a los bunkers internacionales corresponde a una estimación debido a que no se pudo obtener la información directa de todos los distribuidores de combustibles. Sin embargo, hay que señalar que en algunos casos la información recolectada cubre un porcentaje elevado del consumo de dichos combustibles en alguno de los principales usos, por lo que la estimación realizada no debería distanciarse excesivamente de la realidad.

En relación a las emisiones de CO₂, es posible detectar que existe una diferencia entre los resultados obtenidos con el enfoque de referencia y el enfoque de usos finales. Si bien, ambos enfoques no tienen porque arrojar resultados idénticos, dichas diferencias se explican porque la metodología utilizada es distinta a la empleada por el Balance de Energía de la CNE, base para el Enfoque de Referencia.

Al respecto se puede mencionar por ejemplo, el distinto tratamiento en el caso del gas natural empleado para la producción de metanol y el carbón siderúrgico utilizado para la producción de acero. En el primer caso la planta productora de metanol ocupa sólo una mínima proporción del gas natural como fuente de energía, siendo el resto una materia prima para la producción de dicho bien.

En el caso del carbón siderúrgico, conviene señalar igualmente, que solamente una parte del coque, producido a partir del carbón metalúrgico, se utiliza como energético siendo empleado más de 50% del mismo como reductor en el Alto Horno de la siderurgia.

Otro aspecto a destacar en cuanto a las diferencias entre ambos enfoques corresponde a lo que en Balance de Energía se define como "diferencias de cierre", lo que podría explicar el que en un par de años el enfoque de referencia sea ligeramente (menor de 3%) inferior al enfoque de usos finales, lo que conceptualmente no debiera ocurrir.

Además, debe señalarse que en algunos casos se detectaron diferencias en el Balance de Energía de la CNE en la suma de los consumos a nivel del uso final, lo que también podría explicar las diferencias encontradas.

Sin embargo, las diferencias entre ambos enfoques no superan el 3%, salvo algunas excepciones.

A continuación, se destaca brevemente la importancia de los distintos tipos de combustibles en la emisión de los diferentes GEI. Se utilizará como referencia las emisiones correspondientes al año 1998, ya que salvo excepciones derivadas de situaciones coyunturales de tipo climático.

- CO₂: Las principales emisiones de este gas provienen de los combustibles líquidos derivados del petróleo, seguido de los sólidos. Los combustibles gaseosos representan un porcentaje menor respecto de los anteriores.
- CO: El CO es generado fundamentalmente por el uso de la leña y la gasolina en el sector residencial y transporte, respectivamente.
- CH₄: Las principales emisiones provienen de las fuentes fugitivas en la explotación de petróleo, gas natural y carbón. A su vez, la biomasa contribuye en forma importante a estas emisiones en sus usos residencial e industrial (producción de celulosa).
- NO_x: La utilización del petróleo diesel, el carbón, el petróleo combustible y la gasolina, son los principales responsables de las emisiones de este gas, en el sector transporte caminero y de navegación, industrial (cobre e industrias y minas varias) y generación eléctrica.
- N₂O: Las emisiones provienen de la combustión de la gasolina y diesel en el transporte caminero y la leña en el sector residencial. Cabe señalar que la introducción de convertidores catalíticos contribuye a aumentar las emisiones de este gas.
- COVNM: La casi totalidad de las emisiones provienen del uso de gasolina y leña, en el transporte caminero y en el sector residencial, respectivamente.

- SO₂: Las emisiones se concentran en la combustión de carbón y petróleo combustible, fundamentalmente en generación eléctrica, industria-minería (principalmente cobre, celulosa, cemento e industrias y minas varias), y la combustión de leña en el sector residencial.

PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE SOLVENTES

Cabe señalar que la selección de los procesos industriales que formarían parte de este estudio se llevó a cabo en base a los resultados del inventario 1993-1994, finalizado en enero de 1999, eligiéndose aquellos que concentraban las emisiones de los principales gases de GEI. En base a este criterio, las industrias seleccionadas fueron: Hierro y Acero, Cemento, Cobre y Papel y Celulosa.

En relación a los solventes se consideró la fabricación y usos de las pinturas en la edificación, automóviles e industrias.

Dicha selección está basada en el hecho que no existen evidencias de que estas industrias hayan perdido relevancia en relación a las emisiones consideradas.

Con respecto a las emisiones provenientes de los procesos industriales, los procesos asociados a la industria del cemento y a la industria del acero y hierro aportan casi la totalidad de las emisiones de CO₂, las que de acuerdo con el trabajo realizado el año 99 representaban un 98% del total. Por otro lado, la industria del papel y la pulpa es el principal emisor de CO, la que en el estudio anterior representaba del orden de un 90% de este tipo de emisiones, y era además, la más relevante emisora de NO_x.

El proceso de refinación de cobre (básicamente la fundición de concentrados) se presenta como prácticamente el único emisor de SO₂; este proceso era de acuerdo al estudio mencionado el responsable de un 98% de las emisiones de SO₂ correspondientes a procesos industriales. La emisión derivada de la refinación del cobre supera largamente la emisión proveniente del sector energía.

El uso de solventes sólo aporta con emisiones de COVNM. El principal responsable de las emisiones por uso de solventes corresponde a la producción y uso de pinturas.

INDICADORES

Los resultados obtenidos permiten establecer algunos indicadores de tipo global, los que, para el caso de las emisiones totales, vinculadas al sector energía, procesos industriales y uso de solventes, se presentan en el cuadro siguiente. Dichos indicadores relacionan las emisiones de GEI con el PIB y la población de Chile, ambos para el año 1998.

Cuadro 29: Indicadores de emisiones totales de GEI, Chile 1998

Indicador	CO ₂	CO	CH ₄	NO _x	N ₂ O	COVNM	SO ₂
ton contaminate/10 ⁶ US\$ PIB	913,27	15,9	1,2	4,1	0,067	2,4	27,6
kg contaminate/habitante	3614,6	63,0	4,9	16,3	0,263	9,7	109,3

Notas: Los indicadores fueron calculados considerando un PIB de 58.662 millones de dólares de 1980 (SIEE, OLADE) y una población de 14.821,7 miles de habitantes (Fuente: Síntesis Estadística de Chile 1992-1996, Banco Central de Chile), cifras correspondientes a 1998 (El PIB en dólares fue estimado a partir de la información de OLADE correspondiente al año 94 y la tasa de crecimiento del producto informada por el Banco Central). Para caso del CO₂ no se consideró el consumo de biomasa, pero sí para el resto de los indicadores.

Fuente: Elaboración propia en base a Banco Central de Chile y OLADE.

BIBLIOGRAFÍA

Adams, T. N., Wm. J. Frederick, T. M. Grace, M. Hupa, K. Iisa, A. K. Jones, and H. Tran (1997), "Kraft Recovery Boilers". TAPPI Press.

Aranda, Paula, "Costos y Efectividades de Opciones de Control para la Contaminación del Aire en Santiago", memoria de título, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, 1996.

Banco Central de Chile (1994), "Boletín Mensual". Santiago, Chile.

Banco Central de Chile (1997), "Síntesis Estadística de Chile 1994-1998", Santiago.

Biswas and Davenport (1994), "Extractive Metallurgy of Copper", Pergamon-Press, U. K.

Comisión Nacional de Energía (CNE), s.f. "Balance Nacional de Energía 1979-1998/Chile". Santiago, Chile.

Comisión Nacional de Energía (1993), "El Sector Energía en Chile". Santiago, Chile.

CONAMA-RM (1997), "Inventario de Emisiones Atmosféricas de la Región Metropolitana para 1997 y Proyecciones al 2005", Santiago.

CONAMA-RM (1998), "Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana", Santiago.

CODELCO, "Manual de Estadísticas Básicas". Santiago, Chile.

CODELCO, División El Teniente, "Consumo de los combustibles en los años 89, 90 y 95".

ENAP (1993-1994), "Boletín Estadístico Anual", volumen 106-107. Santiago, Chile.

ENAP (1994), "Boletín Estadístico Primer Semestre 1994".

EPA, "Rapid Assessment of Sources of Air, Water & Land Pollution". USA.

Instituto Geográfico Militar (1983), "Atlas de la República de Chile". Santiago, Chile.

Instituto Nacional de Estadísticas, "Censo de Población y Vivienda Chile 1992", Santiago.

Instituto Nacional de Estadísticas (1995), "Parque de Vehículos en Circulación, Año 1994". Santiago, Chile.

Kirk-Othmer (1985), "Concise Encyclopedia of Chemical Technology", USA.

Krause, F., Wilfrid Bach and Jon Koomey (1989), "Energy Policy in the Greenhouse, Volume One, From warming fate to warming limit: benchmarks for a global climate convention". International Project for Sustainable Development Paths (IPSEP), USA.

Minería Chilena (1994), "Compendio de la Minería Chilena", Tomo I, Santiago, Chile.

Ministerio de Industria y Energía (1982), "Técnicas de Conservación Energética en la Industria", Volumen 2 "Ahorro en Procesos", Madrid, España.

Perry, John (ed.) (1966), "Manual del Ingeniero Químico", Tomo I, Editorial Hispano Americana, México.

Programa de Investigaciones en Energía (PRIEN), U. de Chile (1996a), "Costos de Mitigación de las Emisiones Contaminantes de la Industria Minera, Pesquera y Forestal", Santiago, Chile.

Programa de Investigaciones en Energía (PRIEN), U. de Chile (1996b), "Diagnóstico del Enfoque de Matrices Insumo-Producto de Emisiones Contaminantes y Usos Energéticos para la Aplicación de Instrumentos de Contabilidad Ambiental", Santiago, Chile.

Programa de Investigaciones en Energía (PRIEN), U. de Chile (1997), "Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero sector energía Chile 1993", Informe final, Santiago, Chile.

UNEP/OECD/IEA/IPCC (1995, 1996), "IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 1 Reporting Instructions, Vol. 2 Workbook and Vol. 3 Reference Manual", U. K.

U.S. Department of Energy (1980), "An assessment of energy requirements in proven and new copper processes", December 1980, USA.