

Elaboración del inventario nacional de gases de efecto invernadero, sectores no-energía: Agricultura

*Sergio González Martineaux
Roxana Tessada Sepúlveda
Claudio Salas Figueroa
Paola Arata Zapico
Aquiles Neuenswander Alvarado
Francisco Salazar Sperberg*

1. ALCANCE DEL SECTOR 4: AGRICULTURA

Puesto que las actividades preliminares de la elaboración del inventario de gases invernadero fueron detalladas en el Capítulo 3, aquí se entrega una breve reseña de los procedimientos metodológicos aplicados para estimar las emisiones desde las categorías del Sector Agricultura, que reconoce el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC), que son:

- 4.A. Fermentación entérica y emisión de CH_4 ,
- 4.B. Gestión del estiércol subdividido en:
 - 4.B(a), emisión de CH_4 , y
 - 4.B(b), emisión de N_2O ,
- 4.C. Cultivación del arroz y emisión de CH_4 ,
- 4.D. Suelos cultivados y emisión de N_2O , que puede ser directa, por deyecciones de animales en pastoreo directo, e indirectas,
- 4.E. Quema prescrita de sabanas y emisión de CH_4 , N_2O , CO , NO_x y COVNM); estas formaciones vegetacionales no existen en el país y, por tanto, la categoría se informa como “NO” (no ocurre), y
- 4.F. Quema de residuos de cultivos y emisión de CH_4 , N_2O , CO , NO_x y COVNM.

Cabe recordar que el uso del fuego en biomasa, muerta o viva, genera efectivamente emisiones de anhídrido carbónico (CO_2), las que aún ocurriendo físicamente no deben ser contabilizadas debido a que se trata de carbono que se captura durante el ciclo siguiente, como resultado de la fotosíntesis.

Un último detalle: el PICC recomienda informar en "Agricultura", la emisión de N_2O generada desde aguas servidas no tratadas que se descargan a cauces superficiales, aunque también podría informarse en el Sector "Residuos Antrópicos"; si este es el caso, deberá omitirse del Sector "Agricultura", para evitar dobles contabilidades.

De aquí en adelante, se presenta una relación de la metodología (significando método, factores de emisión y origen de datos de actividad) empleada por categoría. Para alivianar el texto, los cuadros con datos de actividad estadísticos han sido anexados al final de este capítulo.

2. RELACIÓN METODOLÓGICA POR CATEGORÍA

2.1. Categoría 4.A: Fermentación entérica y emisión de metano (CH_4)

A. Método

Para el ganado bovino, única especie significativa de la categoría, se aplicó el método nivel 2; para las restantes especies, se usó el método nivel 1. Los animales domésticos (mascotas, callejeros) y otros de reciente introducción (emús, avestruces, ciervos) fueron excluidos, por no contarse con información estadística publicada. En todo caso, el aporte de estas especies es mínimo, en comparación con las especies evaluadas.

B. Factores de emisión

Para las especies que fueron trabajadas con el método nivel 1 (ovinos, porcinos, caprinos, equinos, mulas y asnos, y camélidos de altura), se usó los factores de emisión proporcionados por el PICC, en su versión metodológica revisada en 1996 (**PICC, 1996**). Para el ganado bovino, que se trabajó con el método nivel 2, los valores de energía bruta (producto de la caracterización minuciosa, que se detalló en el Capítulo 3) dieron las bases para calcular los factores de emisión específicos por grupo homogéneo de animales y sistema de manejo, a los que se llega aplicando la siguiente ecuación ^A:

$$FE_{i,x,z} = (EB_{i,x,z} \times Y_m \times 365 \text{ días año}^{-1} / 55,65 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ CH}_4) \text{ kg CH}_4 \text{ cb}^{-1} \text{ año}^{-1}$$

donde:

$FE_{i,x,z}$ = factor de emisión ($\text{kg CH}_4 \text{ cb}^{-1} \text{ año}^{-1}$), para grupo animal_i con sistema de manejo_x bajo condición climática_z

$EB_{i,x,z}$ = energía bruta ingerida ($\text{MJ cb}^{-1} \text{ día}^{-1}$), para grupo animal_i con sistema de manejo_x bajo condición climática_z; valor proviene de la caracterización minuciosa de los bovinos y porcinos,

Y_m = tasa de conversión de metano de los alimentos: fracción bruta presente en los alimentos, que se convierte en metano (se aplicó el valor 0,06, propuesto por el PICC para países en desarrollo ^B),

365 = días del año, y

55,35 = factor de conversión, para expresar el valor final como $\text{kg CH}_4 \text{ cb}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

El **Cuadro 4.1.**, presenta los factores de emisión empleados en el cálculo de las emisiones de metano, para cada una de las especies animales; cabe indicar que la aplicación del método nivel 2 para el ganado bovino, redundaba en la generación de 12 valores específicos, uno por grupo animal, condición climática y sistema de manejo; esta situación se contraponía con el método nivel 1, que trabaja con un factor de emisión único por especie.

^A Ecuación 4.14, en página 4.26 (PICC, 2001)

^B Cuadro 4.8, en página 4.29 (PICC, 2001)

Cuadro 4.I. Factores de emisión, aplicados para estimar emisiones de metano por fermentación entérica

Especie	Método	FE*	
		Kg CH ₄ /cb ¹ /año ¹	
		Pastoreo	Confinamiento
Ovinos	Nivel 1		5
Caprinos	Nivel 1		5
Camélidos de altura	Nivel 1		46
Aves	Nivel 1	No estimado	
Porcinos	Nivel 1		1
Equinos	Nivel 1		18
Mulares y Asnares	Nivel 1		10
Bovinos*	Nivel 2	49,0	53,4
Vacas-leche	Nivel 2	72,6	76,6
Vacas-carne	Nivel 2	56,5	43,0
Vaquillas	Nivel 2	44,4	48,6
Adultos carne	Nivel 2	56,7	82,7
Jóvenes carne	Nivel 2	36,7	30,7
Terberos	Nivel 2	27,1	39,0

* Valores promedio de seis factores de emisión específicos. Para comparación, se menciona que los valores por defecto para bovinos lecheros y no-lecheros son 57 y 49, respectivamente, para Latinoamérica, y 118 y 47, respectivamente, para Norteamérica

C. Datos de actividad

La población de animales domésticos fue obtenida de INE (2003, varios), INIA-CONAMA (2001), ODEPA (2000, varios), Raggi (2000) y FAO (2004). Los valores anuales empleados por especie, como promedio de tres años, se presentan en el anexo de este capítulo. Los valores de distribución de las poblaciones animales, según sistema de manejo del estiércol, ya fue presentada en los cuadros 3.4. y 3.5.

2.2. Categoría 4.B: Manejo del Estiércol

A. Subcategoría 4.B(a): Emisión de metano (CH₄)

A.1. Método

Aplicando el mismo criterio que para la fermentación entérica, las emisiones de las especies no significativas (ovinos, caprinos, equinos, mulares y asnos, camélidos y aves) fueron estimadas mediante el método nivel 1. Las emisiones de los bovinos, una de las dos especies significativas, fueron estimadas con el método nivel 2. En el caso de los porcinos, la otra especie significativa para la categoría, sus emisiones fueron estimadas parcialmente con el método nivel 2, debido a una carencia de información específica.

A.2. Factores de emisión

Para las especies no significativas, se usaron los factores de emisión propuestos por el PICC. Los valores empleados se incluyen en el **Cuadro 4.2.** y corresponden a los que el PICC propone para países en desarrollo y clima templado. Los factores de emisión para los grupos animales bovinos, según sistema de manejo del estiércol (pastoreo a campo; confinados) y condición climática (templada; templada-fría), fueron calculados aplicando la siguiente ecuación ^A:

$$FE_{i,x,z} = (SV_{i,x,z} \times 365 \text{ días año}^{-1} \times Bo \times 0,67 \text{ kg m}^{-3} \times FCM_{x,z} \times SM_{x,z}) \text{ kg CH}_4 \text{ cb}^{-1} \text{ año}^{-1}$$

donde:

- $FE_{i,x,z}$ = factor de emisión de metano (kg CH₄ cb⁻¹ año⁻¹), para grupo animal _i con sistema de manejo _x bajo condición climática _z
- $SV_{i,x,z}$ = sólidos volátiles excretados diariamente (kg SV m³ cb⁻¹ día⁻¹), por grupo animal _i con sistema de manejo _x bajo condición climática _z

^A Ecuación 4.17, en página 4.37 (PICC, 2001)

- Bo = capacidad máxima de producción de metano del estiércol ($\text{m}^3 \text{CH}_4 \text{kg}^{-1}$); se tomó el valor por defecto para Europa Occidental (0,17), de la Tabla B-1 [^],
- $\text{FCM}_{x,z}$ = factor de conversión de metano, por sistema de manejo del estiércol _x bajo condición climática _z, y
- $\text{SM}_{x,z}$ = fracción del estiércol tratado, por sistema de manejo del estiércol _x bajo condición climática _z.

Cuadro 4.2. Factores de emisión de CH_4 del estiércol empleados, correspondientes a valores por defecto del PICC para países en desarrollo y clima templado*

Especie	Factor de emisión de CH_4 ($\text{kg CH}_4 \text{cb}^{-1} \text{año}^{-1}$)
Ovinos	0,16
Caprinos	0,17
Camélidos	1,9
Aves	0,018
Equinos	1,6
Mulas y burros	0,9

* Cuadro 4.5, en página 4.12 del Manual de Referencia (PICC, 1996)

El valor 0,67 es un factor de conversión, que se incluye para expresar los valores calculados en $\text{kg CH}_4 \text{cb}^{-1} \text{año}^{-1}$. Con esta ecuación, alimentada con los datos provenientes de la caracterización minuciosa y de la desagregación poblacional construida, se obtuvieron los factores de emisión que se muestran en el **Cuadro 4.3**.

Para determinar los factores de emisión de los grupos porcinos, también se aplicó la ecuación 4.17, utilizando algunos valores por defecto y otros generados por juicio de experto, que fueron incluidos en la caracterización minuciosa (ver Capítulo 3); en este caso, la falta de información específica solo permitió una caracterización minuciosa parcial, mostrada en el **Cuadro 4.4**, conducente a la generación de un

[^] En página 4.39, Manual de Referencia (PICC, 1996)

Cuadro 4.3. Factores de emisión de CH₄ (kg CH₄ cb⁻¹ año⁻¹) del estiércol, calculados para grupos de animales bovinos

Especie animal	Pastoreo en zona templada (regiones I a VII)	Pastoreo en zona templada-fría (regiones VII a XII)	Confinamiento en cualquiera condición climática
	kg CH ₄ cb ⁻¹ año ⁻¹	kg CH ₄ cb ⁻¹ año ⁻¹	kg CH ₄ cb ⁻¹ año ⁻¹
Vacas lecheras	2,01	1,34	108,89
Vacas carne	1,68	1,12	66,65
Vaquillas	1,23	0,82	69,07
Adultos carne	1,57	1,05	117,59
Jóvenes carne	1,02	0,68	43,73
Terneros	0,75	0,50	55,41

Fuente: Ecuación 4.17, en página 4.37 (PICC, 2001)

factor de emisión por grupo animal y un valor promedio de 34,4 kg CH₄ cb⁻¹ año⁻¹, que está significativamente por encima de los valores proporcionados por el PICC bajo condición templada, para Latinoamérica (1), Norteamérica (14), Europa Occidental (10) y Oceanía (20).

B. Subcategoría 4.B(b): Emisión de óxido nitroso (N₂O)

B.1. Método

Ya se indicó que para esta subcategoría, el PICC no ofrece un método nivel 2 pero sugiere desarrollar factores de emisión específicos por especie animal y sistema de tratamiento del estiércol. Dado que el inventario fue elaborado a nivel regional, el método aplicado puede definirse como 1b. Se trabajó con las poblaciones desagregadas regionalmente pero no desagregadas en grupos homogéneos.


B.2. Factores de emisión


Se trabajó con los factores de emisión que aporta el PICC (1996). Los valores de nitrógeno excretado y factores de emisión FE₃ aplicados, se presentan en los cuadros 4.4. y 4.5.

Cuadro 4.4. Cálculo de factores de emisión para grupos de animales porcinos


Grupos animales	Peso en pié	Energía bruta (EB)	Ingesta de alimentos	Digestibilidad de alimentos (DE)	Cenizas del estiércol (ASH)	Excreción de sólidos volátiles (VS)	Capacidad máxima del estiércol para producir CH ₄ (Bo)	Factor de conversión de metano (FCM)	FE
	kg cb ⁻¹	MJ día ⁻¹	kg ms día ⁻¹	%	%	kg ms día ⁻¹	m ³ CH ₄ kg ⁻¹ SV	%	Kg CH ₄ cb ⁻¹ año ⁻¹
Verraco	100	38,00	2,1	75	8	0,47	0,45	90	46,92
Marrana	80	30,40	2,1	75	8	0,38	0,45	90	37,53
Juveniles	40	15,20	2,1	75	8	0,19	0,45	90	18,77
Promedio									34,41
Fuente	Juicio de expertos	Cuadro B-2				Ecuación 4.16	Cuadro B-2	Cuadro 4-8 pag.4.25	Ecuación 4.17
Manual	Dr. Francisco Salazar INIA-Remehue	En página 4.42 (PICC, 1996)			PICC (1996)	En pág. 4.31 (PICC, 2001)	En pág. 4.42 (PICC, 1996)	En pág. 4.25 (PICC, 1996)	En pág. 4.37 (PICC, 2001)
Supuesto		Países desarrollados		Estándar 8%		Países desarrollados	Templado y lagunas anaeróbicas		

Código de colores:

 Juicio de experto

 Valor por defecto

 Valor estimado aplicando ecuación propuesta

 Valor final calculado

Referencias:

PICC. 1996. Directrices para la elaboración de los inventarios nacionales de gases efecto invernadero (versión revisada en 1996). Manual de Referencia. PICC, Ginebra.

PICC. 2001. Orientación sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. PICC, Ginebra.

Cuadro 4.4. Nitrógeno excretado, por el estiércol*

Especie animal	N excretado Kg N cabeza ⁻¹ año ⁻¹
Bovinos lecheros	70
Bovinos no-lechero	40
Aves de corral	0,6
Ovejas	12
Cerdos	16
Otros animales (equinos, mulares, asnos, camélidos sudamericanos)	40

* Cuadro 4.6, en página 4.12 de Manual de Trabajo (PICC, 1996a)

Cuadro 4.5. Factor de emisión FE₃ de N₂O del estiércol generado bajo confinamiento*

Sistema de manejo	Factor de emisión FE ₃ kg N-N ₂ O kg ⁻¹ N excretado
Lagunas anaeróbicas	0,001
Sistema de tipo líquido	0,001
Abono diario	Sin
Almacenamiento sólido y parcelas secas	0,02
Praderas y pastizales	0,02
Otros sistemas	0,005

* Cuadro 4.8, en página 4.16 del Manual de Trabajo (PICC, 1996a)

2.3. Categoría 4.C: Cultivación del arroz y emisión de metano (CH₄)

A. Método

Debido a la baja importancia de esta categoría en el inventario nacional, producto de la escasa superficie destinada a este cultivo, se aplicó el método nivel 1. Por la forma homogénea como el cultivo es manejado (continuamente anegado, sin adición de enmiendas/fertilizantes)

tes orgánicos), no hubo necesidad de ajustar el factor de emisión a través de la aplicación de un factor de escala.

B. Factores de emisión

Se usó el factor de emisión integrado por defecto (para tomar en cuenta las variaciones estacionales del arroz anegado continuamente y sin insumos orgánicos), equivalente a 20 g m^{-2} (Tabla 4.11 ^A). El valor fue transformado a $0,2 \text{ Gg kha}^{-1}$, a objeto de facilitar la expresión de las emisiones en $\text{Gg CH}_4 \text{ año}^{-1}$ ^{B, C}.

C. Datos de actividad

La superficie anualmente dedicada al cultivo del arroz fue tomada de la base de datos electrónica de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) y de los anuarios de estadísticas agropecuarias del Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Ambas fuentes son consistentes. Por tratarse de un cultivo que tiene una cosecha al año, la superficie cosechada es igual a la superficie cultivada.

2.4. Categoría 4.D: Suelos agrícolas y emisión de N_2O

Esta categoría, una de las claves para el país, incluye las emisiones - directas e indirectas- de óxido nitroso (N_2O) desde la superficie de los suelos cultivados que han recibido aportes antrópicos de nitrógeno. Las emisiones contabilizadas son las siguientes:

directas:

- por aplicación de fertilizantes nitrogenados minerales sintéticos a los suelos,
- por aplicación de fertilizantes orgánicos a los suelos (en el caso de Chile, estiércol no compostado),

^A Página 4.25, Manual de Trabajo (PICC, 1996a)

^B Gigagramos, equivalente a 1×10^9 gramos

^C La modificación se debió a la conveniencia de expresar la superficie en kha y no en m^2 , como está en el software del PICC

- por cultivación de plantas fijadores de nitrógeno (en el caso de Chile, leguminosas de grano y plantas forrajeras),
- por incorporación de residuos agrícolas a los suelos,
- por incorporación de lodos cloacales (actividad incipiente en Chile, para la cual no se cuenta con estadísticas oficiales, por lo que no pudo ser incluida), y
- por cultivación de suelos orgánicos o histosoles (Chile no cuenta con datos de actividad confiables, por lo que tampoco pudo ser incluida),

directas, por las excretas depositadas en la superficie de los suelos por animales en pastoreo (para esta actividad, se usa la fracción del estiércol producido a campo abierto, ya estimado en los balances de masa, detallados en el capítulo 3), e

indirectas:

- por volatilización del nitrógeno aplicado como fertilizante o estiércol animal, y
- por escorrentía y lixiviación del nitrógeno aplicado como fertilizante o estiércol.

Así, el total de emisiones de óxido nitroso desde suelos cultivados es igual a:

$$N_2O_{\text{EMITIDO}} = N_2O_{\text{DIRECTO}} + N_2O_{\text{ANIMALES}} + N_2O_{\text{INDIRECTO}}$$

A. Subcategoría 4.D1: Emisiones directas

A.1. Método

No obstante la importancia de esta categoría, el PICC no ha desarrollado proporciona un método nivel 2 por lo que debió usarse el método nivel 1. Al aplicarse desagregado por región administrativa, el nivel correspondería a 1b.

A.2. Factores de emisión

Se aplicó el factor de emisión por defecto, que el PICC propone para las fuentes de emisión directa (fertilizantes minerales, enmiendas orgánicas, leguminosas cultivadas, y residuos de cultivos); su valor es 0,0125 kg N-N₂O kg⁻¹ N (Tabla 4.18 ^A).

A.3. Datos de actividad

Los factores de emisión por defecto fueron complementados con datos de actividad paramétricos específicos para el país, muchos de ellos generados por juicio de expertos.

A.3.1. Fertilizantes minerales

El país no cuenta con estadísticas publicadas de consumo de fertilizantes nitrogenados, por lo que se recurrió a la base de datos FAOSTAT, que entrega información totalizada a nivel nacional. Su desagregación -a nivel regional- se hizo sobre la base de la superficie cultivada en cada región administrativa. La metodología del PICC contempla, para los fertilizantes minerales, la siguiente ecuación ^B:

$$F_{SN} = N_{FERT} * (1 - \text{Frac}_{GASF})$$

donde:

- F_{SN} = nitrógeno aportado anualmente en la forma de fertilizante mineral y que permanece en el suelo (kg N año⁻¹)
- N_{FERT} = nitrógeno aportado anualmente en la forma de fertilizante mineral (kg N año⁻¹), y
- Frac_{GASF} = fracción del nitrógeno aportado anualmente en la forma de fertilizante mineral y que es emitido como NO_x y NH₃ (kg N-emitido kg⁻¹ N-aportado).

Para Frac_{GASF} , se usó el valor de 0,1 kg (N-NH₃+N-NO_x) kg⁻¹ N aportado, obtenido de la Tabla 4.17 ^C.

^A Página 4.41 (PICC, 1996a)

^B Página 4.33 (PICC, 1996a)

^C Página 4.38 (PICC, 1996a)

A.3.2. Fertilizantes orgánicos (estiércol, compost)

El país no cuenta con estadísticas oficiales sobre uso de compost o estiércol pero es posible estimar las cantidades de estiércol dispuestas superficialmente sobre los suelos, debido a que se ha transformado en la práctica usual de disposición de los residuos generados en los planteles ganaderos confinados. Los datos fueron extraídos de los balances de masas del estiércol, presentados en el Capítulo 3.

La información de base, requerida para el desarrollo de esta sub-categoría, es la cantidad total de nitrógeno excretado según sistema de manejo del estiércol, determinada para la gestión del estiércol. La ecuación utilizada para determinar el aporte de nitrógeno por esta categoría, es la siguiente ^A:

$$F_{EST} = \text{Suma} (Nex_H * (1 - (\text{Frac}_{COMB_H} + \text{Frac}_{PAST_H} + \text{Frac}_{GASM_H})))$$

donde:

- F_{EST} = nitrógeno del estiércol utilizado como fertilizante, corregido por la emisión de NH_3 y NO_x ,
- Nex_H = nitrógeno excretado por especie animal H ($kg\ N\ año^{-1}$),
- $Frac_{COMB}$ = fracción del nitrógeno contenido en el estiércol usado como combustible, por la especie H' ,
- $Frac_{PAST}$ = fracción del nitrógeno contenido en el guano producido por animales en pastoreo, por la especie H' y
- $Frac_{GASM}$ = fracción del nitrógeno del estiércol emitido como NO_x o NH_3 , por la especie H' .

Para esta sub-categoría, se utilizó el nitrógeno del estiércol producido en sistemas confinados, excluyendo el guano deyectado directamente por animales en pastoreo directo. Los valores de $Frac_{PAST}$ y $Frac_{GASM}$ corresponden a los propuestos por el PICC y fueron tomados de la Tabla 4.17 ^B.

^A Página 4.33 (PICC, 1996a)

^B Página 4.38 (PICC, 1996a)

A.3.3. Cultivos fijadores de nitrógeno

Los datos de actividad estadísticos requeridos son la superficie de cultivos de leguminosas y de praderas que incluyen plantas leguminosas. Las fuentes utilizadas fueron:

- ODEPA, complementada con información de INE y la Compañía Chilena de Tabacos (CCT), e
- INIA-CONAMA (2000).

Los datos de actividad paramétricos requeridos son la superficie efectiva de plantas leguminosas (fracción de leguminosas en la mezcla forrajera) y las tasas de fijación simbiótica de las especies leguminosas. Se trabajó con los valores de expertos, empleados anteriormente para elaborar la serie temporal de inventarios 1984/1998 (**INIA-CONAMA, 2000**). Los valores empleados se presentan en los **cuadros 4.6 y 4.7**.

Cuadro 4.6. Fracción de leguminosas, según cultivo y región

Especie	Regiones												
	I	II	III	IV	V	RM	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Lenteja	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Arveja grano	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Chícharo	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Garbanzo	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Poroto													
Grano	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Lupino	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Arveja verde	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Poroto granado	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Poroto verde	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Haba	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Continuación del cuadro 4.6

Especie	Regiones												
	I	II	III	IV	V	RM	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Praderas de trébol alejandrino	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Praderas de alfalfa	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	0,2	0,2	0,2
Otras praderas artificiales	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	0,2	0,2	0,2
Praderas naturales mejoradas	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	0,2	0,2	0,2
Otras praderas naturales	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Cuadro 4.7. Tasa de fijación simbiótica ($kg\ N\ ha^{-1}\ año^{-1}$) de diversas especies leguminosas

Especies	Fijación de N
Lenteja	90
Arveja grano	90
Chícharo	90
Garbanzo	90
Poroto grano	90
Lupino	90
Arveja verde	90
Poroto granado	90
Poroto verde	90
Haba	90
Trébol alejandrino	300
Alfalfa	300
Leguminosas forrajeras	150
Leguminosas en praderas naturales mejoradas	150
Leguminosas en praderas naturales degradadas	100

El nitrógeno fijado anualmente fue calculado, aplicando la siguiente ecuación ^A:

$$N_{\text{FIJADO}_J} = \text{Suma} (\text{Área}_j \times F_{\text{área}_j} \times T_{\text{FIJACIÓN}_J})$$

donde:

N_{FIJADO} = N fijado simbióticamente por plantas leguminosas (kg N año⁻¹),

Área_j = superficie anual (ha) destinada al cultivo_j,

$F_{\text{área}_j}$ = fracción del área destinada al cultivo_j, que es ocupada con leguminosas (superficie efectiva); igual a 1 para los cultivos y <1 para las praderas), y

$T_{\text{FIJACIÓN}_J}$ = tasa de fijación simbiótica (kg N ha⁻¹ año⁻¹) del cultivo_j.

A.3.4. Residuos de cosechas incorporados a los suelos

Tomando en consideración las recomendaciones propuestas por las Guías de Buenas Prácticas del PICC, la ecuación básica fue modificada en el desarrollo del actual inventario, para llegar a la que se expone a continuación ^B:

$$F_{\text{RC}_{J,K}} = \text{Suma} ((\text{Cultivo}_K \times F_{\text{RES}} \times F_{\text{MS}} \times F_{\text{N}} \times F_{\text{INCORP}}) + (\text{Cultivo}_J \times F_{\text{RES}} \times F_{\text{MS}} \times F_{\text{N}} \times F_{\text{INCORP}}))$$

donde:

- F_{RC} = masa de residuos que son incorporados a los suelos (Gg materia seca incorporada año⁻¹),
- Cultivo_K = producción de cultivos no fijadores de N (Gg año⁻¹),
- Cultivo_J = producción de cultivos fijadores de N (Gg año⁻¹),
- F_{RES} = factor de residuos o relación residuos-cultivo,
- F_{MS} = fracción de materia seca de los residuos,
- F_{N} = fracción de nitrógeno de los residuos, y
- F_{INCORP} = fracción de residuos incorporada al suelo (información generada a través de los balances de masas, cuyo detalle fue expuesto en el Capítulo 3).

^A Basada en ecuación 5, página 4.35 (PICC, 1996a)

^B Basada en ecuación 8, página 4.36 (PICC, 1996a)

Los datos de actividad requeridos fueron tomados de las siguientes fuentes:

- superficie y producción de hortalizas: ODEPA, complementada con información de INE y Compañía Chilena de Tabacos (CCT),
- producción de residuos de especies hortícolas:
 - Manterola, Cerda y Mira (1999),
 - investigadores de INIA-La Platina, Francisco Tapia F. y Jorge García-Huidobro P-A.
- índice de cosecha de cultivos hortícolas:
 - Rodríguez (1994), y
 - Acevedo y Silva (2003),
- fracción de materia seca de cultivos hortícolas: Manterola, Cerda y Mira (1999).

A.3.5. Subcategoría 4.D2: Emisiones directas por animales en pastoreo

Esta subcategoría estima las emisiones de N_2O debidas al estiércol depositado sobre la superficie del suelo por los animales en pastoreo directo; por tanto, la base de estimación es la cantidad de nitrógeno contenido en el estiércol producido por los animales domésticos no confinados, la que fue estimada con los valores por defecto, tomados de la Tabla 4.6 ^A, y la producción de guano por animales en pastoreo, originados en los balances de masa presentados en el Capítulo 3.

B. Subcategoría 4.D3: Emisiones indirectas (por depositación atmosférica de NH_3 y NO_x y lixiviación de fertilizantes y estiércol)

B.1. Método

Las emisiones de esta sub-categoría fueron elaboradas según el método nivel 1b.

^A *Página 4.12 (PICC, 1996a)*

B.2. Factores de emisión

Se aplicaron valores por defecto, tomados de la Tabla 4.18 ^A, y que corresponden a 0,01 kg N-N₂O kg⁻¹ (N-NH₃ + N-NO_x emitidos) y 0,025 kg N-N₂O kg⁻¹ N lixiviado/escurrido.

B.3. Datos de actividad

Los datos de actividad paramétricos requeridos, adicionales a los descritos para las emisiones directas, fueron tomados de la Tabla 4.17 ^B y son los siguientes:

- fracción volatilizada de N en el fertilizante: 0,1 kg (N-NH₃+N-NO_x) kg⁻¹ N del fertilizante mineral aplicado,
- fracción lixiviada de N en el fertilizante o el estiércol: 0,3 kg N lixiviado kg⁻¹ N aportado como fertilizante y/o estiércol, y
- fracción volatilizada de N en el estiércol: 0,2 kg (N-NH₃ + N-NO_x) kg⁻¹ N excretado.

2.5. Categoría 4.E: Quema prescrita de sabanas y emisión de gases no-CO₂ (CH₄, CO, N₂O y NO_x)

Esta categoría es informada como “NO” ya que cubre formaciones vegetacionales inexistentes en el país.

2.6. Categoría 4.F: Quema de residuos de cultivos y emisión de gases no-CO₂ (CH₄, CO, N₂O y NO_x)

A. Método

La quema de la biomasa residual de cultivos es una fuente de emisión de CO₂ y gases no-CO₂ (esto es, CH₄, CO, N₂O, NO_x, COVNM, SO₂). Sin embargo, las directrices metodológicas del PICC abordan exclusivamente las emisiones de CH₄, CO, N₂O y NO_x, ya que:

^A Página 4.41 (PICC, 1996a)

^B Página 4.38 (PICC, 1996a)

- las emisiones de CO₂, si bien ocurren, no se contabilizan por estar compensadas por la captura de C atmosférico ocurrida en la siguiente temporada de crecimiento vegetal,
- no ofrece factores de emisión por defecto, para las emisiones de COVNM y SO₂.

Para contabilizar las emisiones desde esta categoría, se tomó en cuenta sólo la fracción de los residuos que es quemada en el campo, información que provino de los balances de masa, según cultivo y región administrativa, ya presentados en el Capítulo 3. Debido a que el inventario nacional se compuso por agregación de las estimaciones regionales, el método empleado fue el de nivel 1b, aplicando los factores de emisión que proporciona el PICC.

B. Factores de emisión

Se trabajó con los factores de emisión contenidos en la Tabla 4.16 ^A, presentados en el **Cuadro 4.8**.

Cuadro 4.8. Factores de emisión de gases no-CO₂, por quema de residuos agrícolas

Gas	Factor de emisión
CH ₄	0,005
CO	0,06
N ₂ O	0,007
NO _x	0,121

C. Datos de actividad

Los datos de actividad estadísticos requeridos, que tienen relación básicamente con la superficie anual y producción de cultivos generadores de residuos combustibles, fueron tomados de las siguientes fuentes:

- ODEPA, complementada con información de INE y Compañía Chilena de Tabacos (CCT),

^A Página 4.34 (PICC, 1996a)

- CIREN (2004),
- SAG-INE (2002), e
- INE (2004).

Los valores de datos de actividad paramétricos provinieron, básicamente, de juicio de expertos, específicamente investigadores INIA. Los balances de masas (ver Capítulo 3) indican que los principales cultivos generadores de residuos que son quemados en el campo, son los cereales (arroz, avena, cebada, centeno y trigo); la quema de residuos de la poda de árboles frutales de hoja caduca viene en franco descenso, llegando el 2003- a no más del 5% de los residuos generados.

La cantidad de residuos generada por los cultivos fue estimada por la relación residuos-producción, mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\text{Relación residuo-cultivo} = \frac{(1 - IC)}{IC}$$

siendo IC el Índice de Cosecha (fracción de la biomasa aérea de un cultivo que corresponde al producto comercial. Los **cuadros 4.9.** y **4.10.** presentan los índices de cosechas empleados, generados con la información obtenida de las siguientes fuentes:

- Rodríguez (1994), y
- Acevedo y Silva (2003).

Cuadro 4.9. Índices de cosecha y factores de residuos de cultivos anuales

Especie	Índice de cosecha	Factor de Residuo
Leguminosas		
Lenteja	0,37	1,70
Arveja	0,31	2,23
Chícharo	0,35	1,86
Garbanzo	0,35	1,86
Poroto	0,40	1,50
Lupino	0,38	1,63

Continuación cuadro 4.9.

Especie	Índice de cosecha	Factor de Residuo
Cereales		
Arroz	0,44	1,27
Avena	0,44	1,27
Cebada	0,44	1,27
Centeno	0,44	1,27
Maíz	0,46	1,17
Trigo	0,42	1,38
Otros		
Maravilla	0,36	1,78
Papas	0,72	0,39
Raps	0,30	2,33
Remolacha	0,65	1,00
Tabaco	0,62	1,00

Cuadro 4.10. Índices de cosecha y factores de residuos de cultivos hortícolas (cultivos cuyos residuos no son quemados)

Especie	Índice de cosecha	Factor de Residuo
Achicoria	0,99	0,01
Arveja verde	0,31	2,23
Haba	0,40	1,50
Lechuga	0,98	0,02
Maíz choclo	0,50	1,00
Melón	0,81	0,23
Pepino ensalada	0,86	0,17
Pimiento	0,55	0,82
Poroto granado	0,40	1,50
Poroto verde	0,40	1,50
Repollo	0,97	0,03
Sandía	0,96	0,04
Tomate	0,55	0,82
Zapallo guarda	0,87	0,15
Zapallo italiano	0,89	0,13
Zapallo temprano	0,87	0,15

La inclusión de estas especies en este cuadro obedece al hecho que fueron incluidos en otras categorías del sector (suelos agrícolas)

Si bien los datos de los cultivos cuyos residuos no son quemados en el campo, no son útiles para esta categoría, sí lo son para la de emisiones de óxido nitroso (N_2O) desde los suelos agrícolas y, por eso, se incluyen en esta sección.

Otro dato paramétrico relevante es la fracción de materia seca de los residuos, ya que permite cuantificar la cantidad de residuos secos, por cultivo. Dicha información se presenta en los cuadros 4.11. y 4.12. y fue tomada de Manterola, Cerda y Mira (1999).

Cuadro 4.II. Materia seca en residuos de cultivos anuales

Especie	Fracción de materia seca
Leguminosas	
Lenteja	0,91
Arveja	0,77
Chícharo	0,89
Garbanzo	0,92
Poroto	0,90
Lupino	0,86
Cereales	
Arroz	0,89
Avena	0,88
Cebada	0,88
Centeno	0,85
Maíz	0,95
Trigo	0,90
Otras	
Maravilla	0,90
Papas	0,12
Raps	0,80
Remolacha	0,18
Tabaco	0,18

Cuadro 4.12. Materia seca en residuos de cultivos hortícolas

Especie	Fracción de materia seca
Cereales	
Choclo	0,95
Solanáceas	
Tomate	0,12
Pimiento	0,15
Leguminosas	
Arveja verde	0,77
Poroto granado	0,23
Poroto verde	0,23
Haba	0,22
Cucurbitáceas	
Melón	0,12
Pepino ensalada	0,06
Sandía	0,14
Zapallo guarda	0,14
Zapallo temprano	0,14
Zapallo italiano	0,14
Hortalizas de hoja	
Achicoria	0,07
Lechuga	0,15
Repollo	0,11

Los restantes datos paramétricos requeridos -y sus fuentes- son los siguientes:

- fracción oxidada de residuos: 0,9, valor propuesto por el PICC ^A,
- fracción de carbono de residuos: Rodríguez (1994), y
- relación nitrógeno-carbono: valores tomados de Rodríguez (1994), y Acevedo y Silva (2003).

Para los residuos de poda, la información fue aportada por investigadores INIA, en toneladas de residuos secos por hectárea; por lo tanto, los datos fueron ingresados directamente a las hojas de trabajo.

^A Página 4.33 (PICC, 1996a)

3. SECTOR 5: CAMBIO DE USO DE LOS SUELOS Y FORESTAL

Las categorías, incluidas en este sector, son las siguientes:

- “Cambio en la dotación de biomasa forestal y otros recursos leñosos”; como singularidad del inventario nacional, se estimaron las emisiones generadas por la disposición de los residuos biomásicos que genera la explotación forestal,
- “Conversión de tierras forestales y/o pastizales en tierras de cultivo”; en el caso de Chile, esta categoría fue subdividida en habilitación y sustitución de tierras forestales,
- “Abandono de suelos cultivados”; en el caso de Chile, se contabilizó la superficie cubierta por renovals de bosque nativo,
- “Emisión de CO₂ desde suelos cultivados”,
- “Pérdida de biomasa por incendios forestales”; se trata de una categoría agregada al inventario nacional y su meta fue contabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero producidas en los incendios forestales. Esta categoría fue subdividida, a su vez, en plantaciones forestales y vegetación natural, y
- “Urbanización de suelos”; esta categoría también fue agregada al inventario nacional, para contabilizar la pérdida en la capacidad de los suelos para sintetizar biomasa vegetal, cuando su uso cambia a urbano.

3.1. Categoría “Cambio en la provisión de biomasa forestal y otros recursos leñosos”

A. Método

Esta categoría contabiliza tanto emisión y captura de CO₂, a través de los cambios en la dotación de biomasa forestal y recursos leñosos (expansión de biomasa en plantaciones y bosque nativo manejado y reducción por la cosecha forestal), como emisión de gases no-CO₂ (CH₄, N₂O, CO y NO_x), generados por el uso del fuego para eliminar residuos forestales. Las estimaciones de emisiones y capturas se ciñen al algoritmo creado (ver Capítulo 3), aplicando factores de emisión por defec-

to. Como subproducto de este algoritmo, es posible estimar la masa anual de residuos forestales generados.

En esta categoría, se incluyeron los huertos de árboles frutales, que sufren anualmente una expansión biomásica acumulativa y que corresponde, básicamente, al fuste de los troncos, así como también los árboles establecidos en áreas urbanas.

B. Datos de actividad

Para la colecta de los datos de actividad estadísticos, requeridos por esta categoría, se hizo uso de las siguientes fuentes:

- superficie total de plantaciones forestales, por región y especie (pino radiata, eucalipto, atriplex, tamarugo y algarrobo, pino oregón y álamo):
 - INFOR, Estadísticas forestales, 1984 a 2003,
 - INIA-CONAMA (2000),
- superficie de bosque nativo manejado: información aportada por CONAF [^],
- superficie de huertos frutales, parronales y viñas:
 - CIREN (2004),
 - SAG-INE (2002),
 - INE (2004),
- número de árboles urbanos: información estimada a partir de la superficie urbana tomada del “Catastro CONAF/CONAMA del Uso de Suelo” (CONAF-CONAMA, 1997), asumiendo una distribución promedio de los árboles urbanos por región, y
- cosecha de productos forestales: INFOR, “Estadísticas forestales”, entre 1983 y 2003.

Para alimentar la gran diversidad de datos de actividad paramétricos que este sector requiere, se empleó las siguientes fuentes:

- tasa de expansión neta de biomasa (excluyendo la fracción no comercial) y biomasa comercial acumulada:

[^] Información generada por CONAF pero no publicada

- INFOR, estadísticas forestales entre 1984 y 2003,
- FIA (1999), e
- INIA-CONAMA (2000),
- factor de expansión de la biomasa forestal (conversión de comercial a total): INFOR-UACH (2002), y
- otras (densidad de la biomasa, fracción de materia seca, relación N/C, entre otras): tomadas, básicamente, de INIA-CONAMA (2000), con adecuación según juicio de expertos.

B.1. Tasa de expansión neta de la biomasa forestal

La tasa de expansión neta de la biomasa forestal, esto es la expansión anual de la biomasa forestal comercial, fue estimada, aplicando la siguiente ecuación ^A:

$$\text{Tasa anual de crecimiento (ton ms ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Biomasa total en pie (m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{)}}{\text{Rotación (años)}} \times \text{Densidad (ton m}^{-3}\text{)} \times \text{Fracción materia seca}$$

siendo:

$$\text{Biomasa total en pie (m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Biomasa promedio (m}^3\text{)}}{\text{Superficie promedio (ha)}}$$

En el **Cuadro 4.13.**, se presentan los valores de densidad de madera aplicados en este estudio.

Este procedimiento fue aplicado a pino radiata y bosque nativo, puesto que se contaba con la información de superficie y volumen, por región. Para el eucalipto, la información se generó a base del volumen obtenido para pino y utilizando el dato de rotación y densidad, específico de la especie. Para las restantes especies (atriplex, algarrobo, tamarugo, pino oregón y álamo), se mantuvieron las tasas de expansión aplicadas en la elaboración de la serie temporal 1984/1998 de inventarios de G.E.I. (**INIA-CONAMA, 2000**) Los valores aplicados, adaptados por juicio de experto, son presentados en el **Cuadro 4.14.**

^A Inf. Forestal, Sr. Aquiles Neuenschwander

Cuadro 4.13. Densidad de la madera, por especie

Especie	Densidad (ton/m ³)*
Pino insigne (<i>Pinus radiata</i>)	0,45
Eucaliptus (<i>Eucalyptus</i> spp)	0,62
Atriplex (<i>Atriplex</i> spp)	0,40
Algarrobo + Tamarugo (<i>Prosopis chilensis</i> ; <i>P. tamarugo</i>)	0,80
Pino oregón (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	0,50
Álamo (<i>Populus</i> sp)	0,32
Otras especies	0,55
Nativas	0,50

* Valores aportados por Aquiles Neunschwander A.

Cuadro 4.14. Tasa anual de incremento de biomasa aérea comercial (ton ms ha⁻¹)

Ítem	Regiones												
	I	II	III	IV	V	RM	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Bosque nativo			0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,7	1,7	2,4	2,4	2,1	1,8
Plantaciones													
Pino insigne (<i>Pinus radiata</i>)					5,3	5,3	5,6	6,3	6,3	6,1	5,5		
Eucalipto (<i>Eucalyptus</i> spp)	5,0		5,0	7,0	10,4	12,2	12,2	12,2	12,2	12,0	10,9		
Atriplex (<i>Atriplex rapanda</i>)	1,0	1,0	1,0	2,0	3,0								
Algarrobo + Tamarugo (<i>Prosopis chilensis</i> + <i>Prosopis tamarugo</i>)	1,8	1,8	1,8	3,0	3,0	3,0							
Pino oregón (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)								7,0	7,0	8,0	8,0	7,0	
Alamo (<i>Populus</i> sp)				10,0		10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
Otras especies	2,0	2,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0	7,0	7,0	8,0	10,0	5,0

B.2. Biomasa comercial acumulada a la cosecha

Este dato de actividad paramétrico fue estimada con la siguiente ecuación ^A:

$$\begin{array}{l} \text{Biomasa comercial} \\ \text{a la cosecha} \\ \text{(ton ms ha}^{-1} \text{ año}^{-1}) \end{array} = \begin{array}{l} \text{Tasa anual de} \\ \text{crecimiento} \\ \text{(ton ms ha}^{-1} \text{ año}^{-1}) \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Rotación} \\ \text{(años)} \end{array}$$

Los resultados obtenidos se presentan en el **Cuadro 4.15**.

Cuadro 4.15. Biomasa comercial, acumulada a la cosecha (ton ms ha⁻¹)

Ítem	Regiones												
	I	II	III	IV	V	RM	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Bosque nativo			5,2	5,2	10,3	10,6	18,5	40,3	104,5	143,7	146,2	124,4	110,1
Plantaciones													
Pino insigne (<i>Pinus radiata</i>)						105,3	105,3	112,8	126,0	126,0	121,8	110,7	
Eucalipto (<i>Eucalyptus</i> spp)	70		70	98	145	171,3	171,3	171,3	171,3	167,8	152,6		
Atriplex (<i>Atriplex rapanda</i>)	15	15	15	30	45								
Algarrobo y Tamarugo (<i>Prosopis chilensis</i> y <i>Prosopis tamarugo</i>)	35	35	35	60	60	60							
Pino oregón (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)								245	245	280	280	245	
Alamo (<i>Populus</i> sp)				150		150	150	150	150	150	150	150	
Otras especies	70	70	70	105	140	140	175	210	245	245	280	350	175

^A Se asumió una relación lineal del crecimiento forestal, lo que no es necesariamente cierto; para ser más preciso, la estimación debería basarse en la curva de expansión biológica

B.3. Factor de expansión de biomasa

Los factores de expansión de la biomasa aérea, útiles para estimar la biomasa no comercial, fueron tomados de INFOR-UACH (2002), logrando con ello mejorar la información utilizada en la serie de inventarios anterior (INIA-CONAMA, 2000). El Cuadro 4.16. presenta los valores utilizados.

Cuadro 4.16. Factores de expansión de biomasa aérea

Especie	Factor de expansión (FE)
Pino radiata	1,56
Eucalipto	1,75
Pino oregón	1,55
Otras	1,62
Bosque nativo	1,75

3.2. Categoría “Conversión de las tierras forestales”

Como se planteó, anteriormente, esta categoría incluye una sub-categoría de pérdida neta de la biomasa forestal, como es la habilitación de terrenos forestales, así como otra de pérdida de biomasa forestal nativa, como es la sustitución de terrenos forestales nativos por plantaciones forestales.

A. Habilitación de suelos forestales

A.1. Método

Corresponde al cambio de uso de los suelos, de forestal a agrícola (cultivo o pradera), lo que significa, básicamente, una reducción significativa de biomasa vegetal, equivalente a la diferencia entre la acumulada al momento del cambio de uso y la sintetizada por el primer año de cultivación. La estimación de las emisiones se ajustó al algoritmo definido previamente (ver Capítulo 3). En esta categoría, se contabilizan:

- emisiones de C, como CO₂, por la eliminación de la biomasa forestal pre-existente,
- captura de C, como CO₂, por la síntesis de biomasa del cultivo inmediatamente procedente a la habilitación, y
- emisiones de CH₄, CO, N₂O, NO_x y COVNM, por la posible quema *in-situ* de la biomasa forestal talada.

A.2. Factores de emisión

Se aplicaron los factores de emisión propuestos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático y que se pueden encontrar en el Cuadro 5-7, en página 5-33 (PICC, 1996). Estos valores son 0,012 para metano; 0,06 para monóxido de carbono; 0,007 para óxido nitroso y 0,121 para óxidos de nitrógeno.

A.3. Datos de actividad

La superficie anualmente habilitada, por región, fue aportada por el Departamento de Fiscalización de CONAF ^A. Esta información permitió estimar:

- la superficie habilitada anualmente,
- la superficie habilitada en los últimos 10 años (requerida para estimar mineralización de la hojarasca), y
- la superficie habilitada en los últimos 25 años (requerida para estimar mineralización de la materia orgánica del suelo).

Los datos de actividad paramétricos requeridos, como densidad, factor de expansión de la biomasa, biomasa acumulada, relación N/C, contenido de C de la biomasa, y contenido de materia seca, son los mismos que fueron generados para la categoría antes descrita.

Respecto de los datos de actividad, que tienen que ver con la gestión de la biomasa forestal eliminada, como fracción de biomasa eliminada *in-situ* (0,55), fracción de biomasa quemada *in-situ* (0,9) fracción

^A Comunicación personal de información colectada pero no publicada

que se mineraliza (0,1), y fracción de biomasa removida del sitio (0,45), fueron obtenidos del algoritmo correspondiente (ver Capítulo 3, figura 3.13).

B. Substitución de bosque nativo

B.1. Método

Corresponde al cambio de la biomasa forestal nativa por una plantación forestal. No se trata de un cambio de uso, aunque el algoritmo de esta sub-categoría es similar al de la habilitación y conduce, en el año de la sustitución, a una importante emisión de carbono a la atmósfera. Las circunstancias metodológicas, incluyendo factores de emisión y datos de actividad paramétricos, son similares a las descritas bajo el punto 4.2.2.A., con la única diferencia del cultivo establecido.

B.2. Datos de actividad

El dato de actividad estadístico -superficie substituida anualmente- fue tomado del inventario anteriormente elaborado (serie temporal 1984/98), con extrapolación hacia los años superiores de la serie actual, debido a la inexistencia de datos de actividad, en esta oportunidad.

3.3. Categoría “Abandono de suelos cultivados”

A. Método

Esta categoría contabiliza la captura de carbono atmosférico, gracias a la expansión de la biomasa forestal y/o arbustiva en áreas abandonados por la agricultura y que están siendo recolonizados por la vegetación nativa. Aunque no se hizo en este ejercicio, podría también contabilizarse la captura en suelos degradados y sometidos a programas de recuperación.

Esta categoría no requiere de factores de emisión, aunque sí de datos de actividad paramétricos conducentes a estimar los incrementos anuales de biomasa y del carbono capturado.

B. Datos de actividad

Los datos de actividad estadísticos requeridos son los siguientes:

- superficie abandonada en los últimos 20 años, y
- superficie abandonada entre 20 y 100 años atrás.

Chile no cuenta con estadísticas sobre el abandono de tierras, por lo que no es posible estimar las capturas de carbono, en la forma diseñada por el PICC. Sin embargo, el país cuenta con algunos otros datos que permiten estimar capturas por la regeneración de la biomasa forestal.

En primer lugar, se posee una detallada información sobre incendios forestales, anualmente incidentes sobre vegetación natural, superficie que, después del episodio, queda sujeta a una regeneración vegetal natural; por ello, se ajusta al concepto de abandono y se contabiliza como “superficie abandonada en los últimos 20 años”. Las plantaciones forestales incendiadas no son contabilizadas bajo esta categoría debido a que, en la práctica, son replantadas apenas termina el episodio.

En segundo lugar, CONAF y CONAMA publicaron en 1997, el “Catastro de Recursos Vegetacionales”, que aporta información sobre la superficie cubierta con formaciones juveniles de bosque nativo: los llamados renovales (**CONAF-CONAMA, 1997**). Esta superficie se consideró como “abandonada entre 20 y 100 años”, no obstante que la gran mayoría corresponde a superficie originalmente cubierta con bosque nativo que fue talado hace más de 100 años. Esta cifra se aplicó en forma constante, a lo largo de la serie temporal 1984/2003.

En relación al carbono acumulado en los suelos, a falta de una mejor fuente, la información requerida fue tomada del inventario anteriormente elaborado (**INIA-CONAMA, 2000**); esta información fue generada por juicio de experto y es presentada en el **Cuadro 4.17**. Se partió de la premisa que el carbono inicial en los suelos, al momento del abandono, era solo el 50% del carbono total acumulado pues, como lo señalan las directrices del PICC en su Libro de Trabajo (**PICC, 1996a**), el carbono original de los suelos decae a una tasa de 50%, en 25 años, período superior al que los suelos estuvieron sin cubierta forestal.

Cuadro 4.17. Carbono acumulado en los suelos*

Región	C acumulado en suelos ton C ha ⁻¹
I	10
II	10
III	10
IV	20
V	40
RM	40
VI	60
VII	70
VIII	80
IX	100
X	120
XI	120
XII	110

* Valores generados por juicio de expertos

3.4. Categoría “Emisión de CO₂ desde suelos cultivados”

A. Método

Según lo establece el PICC, los inventarios de gases invernadero deben contabilizar las emisiones de CO₂ desde los suelos, cuando la fuente de carbono aportada antrópicamente es mineral (símil con las emisiones de N₂O desde suelos cultivados, por aporte antrópico de nitrógeno); en este caso, se trata de contabilizar las emisiones de CO₂ por encalado de los suelos, correspondiente a aplicaciones de cal agrícola. Esta categoría no fue incluida en los anteriores inventarios realizados, por lo que fue necesario generar toda la información para la serie temporal 1984/2003. También, la mineralización en suelos cultivados, especialmente los orgánicos, debe ser contabilizada en esta categoría; sin embargo, por carencia de datos de actividad confiables, ello no pudo ser concretado.

La metodología del PICC fue utilizada con una desagregación de nivel regional del consumo. La determinación de las emisiones de CO₂, por el encalado, se basó en la ecuación siguiente ^A:

^A Tomado de Paso 5, en página 5.30 (1996a)

$$\text{CO}_2 \text{ emitido por encalado de suelos (Gg CO}_2 \text{ año}^{-1}) = \frac{\text{Cantidad anual de cal usada (Mg cal año}^{-1})}{\text{Factor de conversión de C}} \times \frac{\text{Factor de conversión de unidades}}{44/12}$$

B. Datos de actividad

Si bien el encalado es una práctica común en las regiones del sur, no existe información del consumo nacional y regional de cal, por lo que fue necesario contactar las principales empresas productoras de cal. Las fuentes de información sobre el consumo de cal -carbonato cálcico (CaCO_3) o dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)- fueron SOPROCAL (Calerías e Industrias S.A. ^A), complementada por ODEPA ^B.

Como factores de conversión, se aplicaron los valores proporcionados por las Directrices metodológicas 1996 del PICC, tomados de las páginas 5.37 y 5.38 (PICC, 1996a). Los valores son los siguientes:

- 0,12, como factor de conversión para carbonato cálcico,
- 0,122, como factor de conversión para dolomita, y
- 0,001, como factor de conversión de unidades.

3.5. Categoría “Pérdida de biomasa forestal, por incendios forestales”

A. Método

Para esta categoría, se trabajó separadamente con incendios:

- afectando plantaciones forestales, y
- afectando vegetación natural,

debido a que el manejo ex-post es distinto: en el caso de las plantaciones forestales incendiadas, el área afectada es replantada apenas pasa el episodio, en tanto que, en el caso de la vegetación natural, la superficie queda librada a la regeneración natural de la vegetación, lo que da pie para contabilizarla como abandonada, al año siguiente.

^A Comunicación personal del Sr. Alfonso Rosas Rodríguez, Gerente General

^B Comunicación personal del Sr. Bernabé Tapia C.

B. Datos de actividad

La principal fuente de datos de actividad estadísticos fue el INFOR, en sus estadísticas forestales entre los años 1984 y 2003, para ambos tipos de incendios forestales. La información sobre incendios forestales se extiende hasta 1971, lo que permite generar las superficies acumuladas en 10 y 25 años.

Los datos de actividad paramétricos, en cuanto a fraccionamiento de la biomasa vegetal, fueron obtenidos de los algoritmos creados y que se muestran en el Capítulo 3. Los valores de biomasa acumulada, al inicio del incendio, fueron tomados de la serie temporal de inventarios 1984/98, anteriormente elaborada (INIA-CONAMA, 2000).

3.6. Categoría “Urbanización”

A. Método

Aunque se trata de una categoría de baja importancia relativa, en cuanto a la emisión de CO₂, la urbanización -correspondiente tanto al crecimiento de centros urbanos como al establecimiento de áreas residenciales en sectores rurales (condominios y/o parcelas de agrado)- ha sido estimada para la serie temporal 1984/2003, tomando como información base, la generada para el ejercicio anterior (**serie temporal 1984/1998**) (INIA-CONAMA, 2000).

B. Datos de actividad

Para la urbanización, vía expansión de centros urbanos, la información provino del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), en tanto que para la ocupación de espacios rurales con áreas residenciales, provino del Departamento de Protección de Recursos Naturales Renovables (DEPROREN), del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)^A. Los datos de actividad paramétricos fueron establecidos sobre la base de juicio de expertos.

^A Ing. Agrónomo Rodolfo Freres G. Comunicación personal

4. SECTOR 6: RESIDUOS

4.1. Categoría “Residuos sólidos urbanos”

A. Método

Las emisiones de metano (CH_4) por esta categoría, fueron estimadas aplicando el método nivel 1b del PICC. Aunque es una categoría clave para el país, no se cuenta con factores de emisión nacionales por lo que, en algunos casos, se utilizaran valores determinados por juicio de experto y, en otros, valores por defectos del PICC. Para esta categoría, el método PICC incluye las emisiones de metano (CH_4):

- desde sitios no controlados de disposición de residuos sólidos urbanos, y
- desde sitios controlados de residuos sólidos urbanos (vertederos y/o rellenos sanitarios),

obtenidas utilizando la ecuación siguiente ^A:

$$\text{CH}_4 \text{ emitido (Gg año}^{-1}\text{)} = (\text{RSU}_T \times \text{RSU}_F \times \text{FCM} \times \text{COD}_F \times F \times 16/12 - R) \times (1 - F_{\text{ox}})$$

donde:

RSU_T = total de residuos sólidos urbanos generados (Gg año⁻¹),

RSU_F = fracción de los RSU eliminados en vertederos,

FCM = factor de corrección para el metano,

COD_F = fracción de carbono orgánico degradable (COD),

F = fracción de CH_4 en el gas de vertedero,

R = CH_4 recuperado (Gg año⁻¹), y

F_{ox} = factor de oxidación.

B. Factores de emisión

Para los residuos sólidos urbanos (RSU), se utilizaron los factores que se indican a continuación.

^A Ecuación 1, en página 6.5 (PICC, 1996)

B.1. Factor de corrección de metano (FCM), a nivel regional y nacional

El FCM fue estimado utilizando información emergente de estudios efectuados por universidades e institutos de investigación, además del Catastro Nacional de Rellenos Sanitarios (**CONAMA, 2001**). La ecuación [^] para estimar el FCM de los residuos sólidos urbanos, es la siguiente:

$$Y_i \text{ (FCM)} = W_i \times X_i$$

donde:

- Y_i = factor de conversión de metano, regional o nacional,
- W_i = proporción de RSU, por tipo de vertedero (controlado, no controlado, relleno sanitario), y
- X_i = factor de corrección para el metano, estimado por tipo de vertedero (no controlado, controlado, relleno sanitario).

Algunos de los valores de los factores de corrección de metano fueron tomados de las Directrices metodológicas del PICC (**PICC, 1996**), en tanto que otro fue generado por juicio de experto. El **Cuadro 4.18** muestra los valores de factor de corrección de metano utilizados en los inventarios.

Cuadro 4.18. Factores de corrección de CH₄ por residuos sólidos urbanos (completar con significado de cada fila)

Sitios de eliminación de residuos sólidos	Factor de corrección para el metano (FCM)*
Controlados	1,00
No clasificados, por defecto	0,80
No controlados, profundos	0,60
No controlados, superficiales	0,40

*Valores tomados del Cuadro 6-2, página 6.8 (PICC, 1996)

[^] En Tabla 6-2, página 6.9 (PICC, 1996a)

B.2. Compuestos Orgánicos Degradables (COD)

Para la determinación de los valores de COD, se utilizó la ecuación siguiente ^A:

$$\% \text{ COD (por peso)} = 0,40 \times A + 0,17 \times B + 0,15 \times C + 0,30 \times D$$

donde:

- A = porcentaje de los RSU que corresponde a papel y textiles,
- B = porcentaje de los RSU que corresponde a residuos de jardín y áreas verdes o a otros residuos orgánicos putrescibles (excluidos los alimentos),
- C = porcentaje de los RSU que corresponde a alimentos, y
- D = porcentaje de los RSU que corresponde a madera y paja.

Con esta metodología, se estimó el COD por región y país. Para esto, se calculó el COD por las macrorregiones (zona norte, zona central y zona sur más la Región Metropolitana), utilizando estudios nacionales (CONAMA, 2001, 2001a; U. de Chile y EMERES, 1995), sobre la composición de la basura de Chile. Los resultados alcanzados se muestran en los cuadros 4.19. y 4.20.

Cuadro 4.19. Parámetros de COD, por macrorregión (%)

Parámetros Macrorregión	A	B	C	D
Zona Norte	20,09	34,5	0,0	0,0
Zona Central	16,75	62,0	0,0	0,0
Zona Sur (VIII-IX)	12,30	60,0	0,0	0,0
Zona Sur (X-XII)	7,15	57,4	0,0	0,0
Región Metropolitana	20,55	53,0	0,0	0,0

^A Ecuación 2, en página 6.10 (PICC, 1996a)

Cuadro 4.20. Valores de COD y su fracción, por región y país*

Región	% COD (por peso) promedio para todos los años	Fracción COD
I	13,90	0,14
II	13,90	0,14
III	13,90	0,14
IV	13,90	0,14
V	17,24	0,17
XIII	17,23	0,17
VI	17,24	0,17
VII	17,24	0,17
VIII	15,12	0,15
IX	15,12	0,15
X	12,62	0,13
XI	12,62	0,13
XII	12,62	0,13
Total país	14,82	0,15

* Las fuentes utilizadas fueron: CONAMA (2001a), Universidad de Chile-EMERES (1995) y MIDEPLAN (1994, 1995, 1995a, 1995b)

B.3. Valores por defecto

Los valores por defecto, aplicados para esta categoría, se presentan en el **Cuadro 4.21**.

Cuadro 4.21. Valores por defecto del PICC, para algunas constantes

Sigla	Descripción	Valor	Fuente
COD _F	Compuestos orgánicos que realmente se degradan (fracción)	0,77	Paso 3 punto 2, en página 6,11, (PICC, 1996a)
FC	C liberado como CH ₄ (fracción)	0,50	
F _{ox}	Factor de oxidación	0,00	Paso 4 punto 4, en página 6,11 (PICC, 1996a)

B.4. Recuperación anual de metano

Para estimar la recuperación anual de metano, se calculó primero la generación de metano procedente de los diferentes tipos de vertederos y el posterior porcentaje de recuperación por estos. La forma de cálculo fue la siguiente (tomada de INIA-CONAMA, 2000):

$$\text{CH}_4 \text{ recuperado (Gg año}^{-1}\text{)} \times = \text{Basura producida (Gg año}^{-1}\text{)} \times \text{Biodegradación no homogénea para la generación de biogás (m}^3 \text{ Gg}^{-1}\text{)} \times \text{Fracción de MO} \times \text{Eficiencia de generación de biogás} \times \text{Densidad de biogás (Gg m}^{-3}\text{)} \times \text{Fracción de CH}_4 \text{ en biogás} \times \text{Fracción de CH}_4 \text{ quemado en antorcha}$$

Los valores usados para la determinación de la recuperación de metano se encuentran en el **Cuadro 4.22**.

Cuadro 4.22. Supuestos utilizados en el cálculo de la recuperación de CH₄

Ítem	Valor	Alcance, unidad
Biodegradación no homogénea de biogás	200	Nm ³ ton ^{-1a}
Materia orgánica	50	%
Eficiencia par la producción de biogás	0,8 0,25	Para la RM Para las restantes regiones administrativas
Composición del biogás	35	% de CH ₄
Densidad del biogás	0,16	Kg m ⁻³
Potencial de captación de metano	90 45 10	% en relleno sanitario % en vertedero controlado % en vertedero no controlado

Las fuentes de información usadas fueron:

- para la fracción de materia orgánica (MO) en la basura y fracción de metano quemado en antorcha: juicio de experto,
- para biodegradación no homogénea para la generación de biogás: EPA (2001) e INIA-CONAMA (2000),

- para la densidad del biogás y fracción de metano en el biogás: Fundación Chile (2004), y
- para la eficiencia de la producción de biogás: INIA-CONAMA (2000).

C. Datos de actividad

En esta oportunidad, se realizó la actualización completa de la serie temporal 1984/2003, realizando la recopilación de datos de actividad estadísticos correspondiente a este período. La información del total anual de residuos sólidos urbanos (RSU) eliminados en vertederos de residuos sólidos, fue recopilado de CONAMA (2001).

4.2. Categoría “Aguas residuales domésticas tratadas”

Según el inventario del año 1994, esta categoría no es clave, por lo que se aplicó el método nivel 1. Dentro de esta categoría, se incluyen tres fuentes de emisión de gases:

- emisión de CH₄ por tratamiento de aguas residuales domésticas,
- emisión de CH₄ por tratamiento de lodos cloacales generados por las plantas de tratamiento de aguas servidas, y
- emisiones indirectas de N₂O desde excretas humanas.

A. Emisión de metano (CH₄)

A.1. Método

Las emisiones de metano fueron estimadas utilizando la siguiente ecuación [^]:

$$\text{CH}_4 \text{ emitido (Gg año}^{-1}\text{)} = (\text{Desechos orgánicos totales} \times \text{FE}) - \text{CH}_4 \text{ recuperado}$$

A.2. Factores de emisión

El factor de emisión de CH₄ y la determinación de producción de lodos por tratamiento de aguas residuales domésticas utilizados en los

[^] Ecuación 5.5, en página 5.15 (PICC, 2001)

inventarios, fueron generados por juicio de experto. Además, se utilizaron valores propuestos por el PICC, en sus guías metodológicas 1996 (PICC, 1996, 1996a).

Para determinar los desechos orgánicos totales (aguas residuos y lodos), se debe determinar la serie de factores, que se enumeran a continuación.

A.2.1. Fracción del componente orgánico degradable retirado como lodo

Para esta fracción, se utilizó la información de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS); la información está disponible desde 1991; para los años anteriores, se consideró el valor por defecto (0^A).

A.2.2. Componente orgánico degradable (DBO)

La DBO utilizada corresponde a valores estimados por juicio de experto, debido a que no existen valores nacionales medidos. Para este caso, se consideró una DBO de 14,6 kg cada 1.000 personas⁻¹ año⁻¹, para regiones, y de 21,9 kg cada 1.000 personas⁻¹ año⁻¹, para la Región Metropolitana.

A.2.3. Fracción de aguas residuales por sistema de tratamiento

Se consideró la información proporcionada por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). La fracción de aguas residuales cuenta con datos reales desde 1991; para los años anteriores, se aplicó el valor por defecto igual a $0,02^B$.

A.2.4. Fracción de lodos tratados por el sistema de tratamiento

Para la fracción de lodos tratados por sistema de tratamiento, se trabajó con la información de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), en una serie que se inicia en 1991; por ello, para los años anteriores, se aplicó el valor cero, valor generado por juicio de experto. El

^A En paso 1, punto 4, en página 6.15 (PICC, 1996a)

^B Valor tomado de INIA-CONAMA (2000)

cálculo de la producción de lodos, por sistema de tratamiento, se hizo utilizando la siguiente ecuación ^A:

$$Q_p = (0,0864 \times Q_m \times [(K_1 \times S_c \times (1-ess)) + (K_2 \times DBO) \times (1-eDBO) - S_{Se}])$$

Los cuadros 4.23. y 4.24. muestran los valores utilizados para resolver la ecuación anterior y que fueron generados por juicio de experto.

Cuadro 4.23. Valores de las constantes utilizados en la determinación de producción de lodo

Q _p = Peso seco de lodos (kg año ⁻¹)	DBO = DBO en el efluente (mg l ⁻¹)
Q _m = Caudal medio (m ³ año ⁻¹)	debo = Relación (DBO a salida del tratamiento secundario / DBO a entrada en el tratamiento secundario)
K ₁ = cte (0 ó 1)	S _{Se} = SST en el efluente (mg l ⁻¹)
S _c = SST en agua servida cruda (mg l ⁻¹)	0,7 = Fracción agregada sólo en lagunas aireadas, que corresponde al 70% de los lodos producidos como si fuesen lodos activados; se estima de esta forma debido al mayor volumen en el caso de lagunas aireadas, comparadas con lodos activados
ess = relación (SST salida al sedimentador primario/SST entrada al sediment. primario)	K ₂ = Tasa según supuesto de tratamiento

Cuadro 4.24. Supuestos por tipo de tratamiento de aguas ^B

Tipo de tratamiento de aguas	K ₁	S _c	ess	K ₂	DBO	eDBO	S _{se}
Sedimentación primaria	1	220	0,3	0	220	0,3	0
Lodos activados:							
tasa alta	1	220	0,3	0,9	220	0,3	30
tasa normal	1	220	0,3	0,6	220	0,3	20
Lagunas extendidas	0	220	0	0,6	220	0	20
Biofiltro	1	220	0,3	0,48	220	0,3	20

^A Aportada por Paola Arata

^B Aportada por Paola Arata

Otros valores utilizados corresponden a valores por defectos o estimados y son incluidos en el **Cuadro 4.25**.

Cuadro 4.25. Valores por defecto o estimados para la determinación de CH₄ en aguas y lodos residuales

Sigla	Descripción	Valor por defecto o estimado	Fuente
FCM	Factor de corrección del metano	0,40	Juicio de experto
Bo	Capacidad máxima de producción de metano	0,60 (kg CH ₄ kg ⁻¹ DBO)	Pág. 5.18 (PICC, 2001)
	Metano recuperado y/o quemado	0,00	Paso 4, punto 4, en página 6.17 (1996a)

B. Emisión de N₂O

B.1. Método

Las emisiones de óxido nítrico fueron estimadas utilizando la hoja de trabajo 6-4 [^], que establece lo siguiente:

$$N_2O \text{ emitido (Gg año}^{-1}\text{)} = (PR \times \text{población} \times \text{Frac}_{NPR} \times EF_6 \times 44/28 \times 10^{-6})$$

donde:

PR = proteínas consumidas al año per capita (kg proteína cb⁻¹ año⁻¹),

Frac_{NPR} = fracción de nitrógeno en la proteína (kg N kg⁻¹ proteína)

EF₆ = factor de emisión de N₂O en el excremento (kg N-N₂O kg⁻¹ N en excremento)

B.2. Datos de actividad y factores de emisión

El valor de proteínas consumidas al año per capita (kg proteína cb⁻¹ año⁻¹) fue estimado por juicio de experto y corresponde a 10,95 kg persona⁻¹ año⁻¹, para la Región Metropolitana, y 7,3 kg persona⁻¹ año⁻¹

[^] Página 6.39.(PICC, 1996a)

para el resto de Chile. Para la fracción de nitrógeno de la proteína, se usó el valor 0,16, tomado del PICC (1996a)^A. Para el factor de emisión FE_6 , se usó el valor 0,01 kg N-N₂O kg⁻¹ N excretado, tomado también de PICC (1996a)^B.

B.3. Datos de actividad estadísticos

Los datos de actividad estadísticos correspondieron a la serie temporal 1984/1998 (**INIA-CONAMA, 2000**), actualizada con los datos de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) para incorporar los años 1999 a 2003. Además, se procedió a actualizar los datos anuales de población urbana utilizados en emisiones de metano y óxido nitroso del inventario, para la serie temporal 1984/2003.

La población urbana, utilizada tanto en la estimación de la emisión de CH₄ como de N₂O, fue tomada de los censos poblacionales INE 1982, 1992 y 2002, los que complementaron la información elaborada para la elaboración de la serie 1984/1998 de inventarios de gases invernadero (**INIA-CONAMA, 2000**).

La ecuación utilizada para determinar la población total fue la siguiente:

$$Pt = Pi \times e^{RT}$$

donde:

Pt = población total estimada,

Pi = población inicial,

R = tasa de incremento anual, e

T = intervalo de tiempo considerado.

Para la estimación la población total, tanto regional como nacional, se utilizaron las tasas de incremento anual, que se muestran en el **Cuadro 4.26**.

^A Página 6.25, paso 6.5, punto 3 (PICC, 1996a)

^B Página 6.25, paso 6.5, punto 4 (PICC, 1996a)

Cuadro 4.26. Tasa de incremento anual
de la población humana

Región administrativa	Tasa de incremento anual
I	2,10
II	1,84
III	2,30
IV	1,83
V	1,35
XIII (RM)	1,97
VI	1,72
VII	1,34
VIII	1,33
IX	1,13
X	1,11
XI	1,93
XII	0,82

Fuente: Tasa de incremento anual (OMS, 1998)

Para elaborar los inventarios anuales, la información sobre los sistemas de tratamiento para aguas residuales y de lodos fue obtenida de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), la que se inicia el año 1991; para los años anteriores, se consideró los valores tomados de la serie 1984/1998 de inventarios anuales de gases invernadero (INIA-CONAMA, 2000).

En consecuencia, las fuentes de información empleadas fueron:

- INIA-CONAMA (2000), y
- SISS (informes de Gestión del Sector Sanitario, años 1995, 1996/1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003).

4.3. Categoría “Tratamiento de residuos líquidos industriales”

Según la información procedente de inventarios anteriores, esta categoría no es una categoría clave, por lo que la estimación de sus emi-

siones con el método nivel 1 es consistente con las buenas prácticas del PICC. En esta categoría, se analizó las siguientes dos fuentes de emisión de gases:

- emisión de CH₄ debido al tratamiento de residuos líquidos industriales, y
- emisión de CH₄ debido al tratamiento de lodos industriales provenientes de los tratamientos de residuos líquidos industriales.

A. Método

La siguiente ecuación [^] permite determinar las emisiones de CH₄ procedentes de la gestión de los residuos líquidos industriales ó RILes.

$$\text{CH}_4 \text{ emitido (Gg año}^{-1}\text{)} = \text{Desechos orgánicos totales} \times \text{FE} - \text{CH}_4 \text{ recuperado}$$

B. Factores de emisión y datos de actividad

Los factores de emisión de CH₄ y la producción de lodos por tratamiento de residuos líquidos industriales utilizados en los inventarios, fueron generados por juicio de expertos y/o tomados de los proporcionados por el PICC, en sus directrices metodológicas 1996 (PICC, 1996, 2001).

B.1. Fracción de efluentes industriales por sistema de tratamiento

La fracción de efluentes industriales por sistema de tratamiento se consideró la información obtenida en la Superintendencia del Servicio Sanitario (SISS), la fracción de efluentes se considera con datos reales desde el año 1998, antes de eso, sólo se consideró valores por defecto de 0,05, tomado INIA-CONAMA (2000).

B.2. Lodos orgánicos de fuentes industriales (DQO)

El total de lodos orgánicos de fuentes industriales (DQO), fueron obtenidos de los catastros de RILes 1992 y 1998 de la Superintendencia del Servicio Sanitario (SISS), desde el año 1998, ya que no hay más infor-

[^] Ecuación 13, página 6.22 (PICC, 1996)

mación disponible, antes de eso, los valores de DQO corresponden a 0, este valor se consideró por juicio de experto, ya que antes de 1998, no se considera tratamientos de RILes. Dado este criterio, se realizó el cálculo de la producción de lodos del año 1998 por sistema de tratamiento, utilizando la siguiente ecuación [^]:

$$Q_p = (0,0864 \times Q_m \times [(K_1 \times S_c \times (1-ess)) + (K_2 \times DBO) \times (1-eDBO) - SSe])$$

El **cuadros 4.27.** muestra los valores utilizados para resolver esta ecuación.

Cuadro 4.27. Valores de las constantes utilizados en la determinación de producción de lodo

Qp = Peso seco de lodos (kg año ⁻¹)	DBO = DBO en el efluente (mg l ⁻¹)
Qm = Caudal medio (m ³ año ⁻¹)	eDBO = Relación (DBO obtenida a salida del tratamiento secundario / DBO de entrada en el tratamiento secundario)
K1 = constante de 0 ó 1	SSe = SST en el efluente (mg l ⁻¹)
Sc = SST en agua servida cruda (mg l ⁻¹)	0,7 = esta fracción se agrega sólo en lagunas aireadas que corresponde al 70% de los lodos producidos como si fuesen lodos activados, se estima de esta forma debido al mayor volumen en el caso de lagunas aireada comparadas con lodos activados
ess = Relación (SST salida al sedimentador primario/ SST de entrada al sedimentador primario)	K2 = Tasa según supuesto de tratamiento

Para el cálculo de DQO, se asumió que la reducción de DQO depende del tipo de sistema de tratamiento utilizado. Para la aplicación de esta estimación, se utilizaron los supuestos mostrados en el **Cuadro 4.28.**

Cuadro 4.28. Supuestos de reducción de DQO, por sistema de tratamientos de lodos

Tipo de tratamiento	Reducción de DQO
Tratamientos fisicoquímicos (sedimentación y flotación)	30%
Tratamiento de lagunas aireadas y lagunas de estabilización	50%
Tratamiento de lodos activados	80%

B.3. Fracción de lodos tratados, por sistema de tratamiento

La fracción de lodos tratados por el sistema de tratamiento, se consideró desde el año 1998, debido a la información obtenida en la Superintendencia de Servicio Sanitario (SISS); antes de este año, se tomo como 0 todos los valores de lodos, por no existir en el país. Otros valores, utilizados tanto por defecto como estimados, se muestran en el **Cuadro 4.29**.

Cuadro 4.29. Valores por defecto y valores estimados para la estimación de la emisión de metano por RILEs

Sigla	Descripción	Valor por defecto o estimado	Fuente
FCM	Factor de corrección del metano	0,50	Valor estimado por Paola Arata Z.
Bo	Capacidad máxima de producción de metano	0,25 (kg CH ₄ kg DQO ⁻¹)	Página 5.18 (PICC, 2001)
	Metano recuperado y/o quemado	0,00	Paso 4 punto 4, en página 6.25 (PICC,1999a)

C. Datos de actividad estadísticos

En la categoría tratamiento de residuos líquidos industriales, se realizó la completa recopilación de datos de actividad estadísticos, para la serie temporal 1984/2003, actualizando por completo el inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI), serie temporal 1984/1998 (INIA-CONAMA, 2000).

La información de los sistemas de tratamiento para efluentes industriales aplicados en los inventarios GEI, serie temporal 1984-2003, se consideró la información obtenida en la Superintendencia del Servicio Sanitario (SISS), disponible desde el año 1998. Para años anteriores a 1998, se consideró los valores por defecto para sistema anaeróbicos.

Además, la información obtenida para los efluentes orgánicos de fuentes industriales (DQO) a nivel región y país, fue obtenido de los catastros de RILes 1992 y 1998 (SISS), donde existe la información completa de DBO en RILes, por lo que se utilizó el supuesto que $2 \times \text{DBO} = \text{DQO}$ en RILes. Las fuentes de información fueron la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS, 1998, 1999, 2004).

En lo que corresponde a los sistemas de tratamientos, producción y fracción de lodos, solo se tomaron en cuenta a contar de 1998, por la razón antes mencionada de que, antes de ese año, no existían plantas de tratamientos de residuos líquidos industriales. Las fuentes de información utilizadas[^] fueron:

- SISS (1998, 1999, 2004), y
- Flores (2004).

4.4. Categoría “Residuos hospitalarios incinerados”

En la categoría tratamiento de residuos hospitalarios incinerados se realizó la recopilación de datos de actividad estadísticos, para la serie temporal 1984/2003, siendo esta categoría anexadas a las hojas de trabajo del PICC, en las cuales se generación el inventario GEI, ya que no existían hojas tales, sino recomendaciones de PICC, para la creación de esta.

Dado, a que no existe información anterior con respecto a esta categoría, se trabajara con un nivel 1, la cual se desagregó en dos fuentes de emisión de gases:

[^] Además de la información directamente aportada por la experta Paola Arata

- emisión de CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO y COVNM debido a la incineración de cadáveres y restos humanos, y
- emisión de CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO y COVNM debido a la incineración de residuos hospitalarios.

A. Emisión de CO₂ y gases no-CO₂ (CH₄, N₂O, NO_x, CO y COVNM)

A.1. Método

La forma de cálculo de estos gases es ir determinando paso a paso todos los gases, para ello se utilizan las siguientes series de ecuaciones [^]:

$$\text{CO}_2 \text{ emitido} = \text{ResInc} \times \text{Fr C} \times \text{FE de CO}_2 \times (44/12)$$

$$\text{CO emitido} = \text{C emitido como CO}_2 \times \text{FE de CO} \times (16+12)/12$$

$$\text{CH}_4 \text{ emitido} = \text{C emitido como CO}_2 \times \text{FE de CH}_4 \times (16/12)$$

$$\text{COVNM emitidos} = \text{C emitido como CO}_2 \times \text{FE de COVNM} \times (12 \times 3 + 8) / (12 \times 3)$$

$$\text{N}_2\text{O emitido} = \text{ResOx} \times \text{Fr C} \times F_{\text{C/N}} \times \text{FE N con N}_2\text{O} \times (14 \times 2 + 16) / 28$$

$$\text{NO}_x \text{ emitido} = \text{N emitido como N}_2\text{O} \times \text{FE de NO}_x \times 1,17$$

A.2. Factores de emisión

Los factores de emisión fueron tomados del PICC; se deja en claro que esta estimación es una primera aproximación a la emisión de gases por esta vía. Estos valores se muestran en el Cuadro **4.30**.

A.3. Datos de actividad

Para la elaboración de los inventarios se recopiló la información estadística: sobre cremación de cadáveres y restos humanos; esta informa-

[^] Ecuaciones tomadas de páginas 5.25 a 5.28 (PICC, 2001)

Cuadro 4.30. Valores utilizados para la incineración de residuos hospitalarios

Tipo	Valor	Fuente	Unidad
Fracción de residuos incinerados A 4020	1	valor 1, ya que se trabajó con datos de lugares de incineración	
Fracción de materia seca en residuos incinerados	0,6	Ecoworld Ltda., valor válido para residuos hospitalarios y cementerios	
Fracción de residuos trasladados a empresas	1	valor 1, ya que se trabajó con datos de lugares de incineración	
Fracción de residuos enviados a cementerios	1	valor 1, ya que se trabajó con datos de lugares de incineración	
Eficiencia incineración cementerios	0,95	Cementerio Parque del Recuerdo y Cementerio General	
Eficiencia de incineración	0,98	Ecoworld Ltda.	
FE de CH ₄	0,00005	Estimado por Sergio González	CH ₄ g ⁻¹ g C liberado
Fracción de C en residuos incinerados	0,6	Base de Datos de Factores de Emisión (BDFE)	
Relación N/C en residuos incinerados	0,0333		
FE de CO	0,00067		
FE de COVNM	0,00000074		g gas g ⁻¹ C ó N liberado
FE de N como N ₂ O	0,000066		
FE de NO _x	0,001		

Nota: los valores por defecto de COVNM, CO, N₂O y NO_x, son para la incineración de residuos sólidos domiciliarios, y se utilizaron debido a que no existe mayor información con respecto a este tema

ción está desagregada por edad y sexo. Se trabajó con información de la Región Metropolitana, ya que no se encontró más información disponible. Las fuentes de información fueron:

- Cementerio General, y
- Cementerio Parque del Recuerdo,

La incineración de los residuos hospitalarios en empresas privadas fue consultada en función del peso seco de residuos incinerados y también sólo se obtuvo información para la Región Metropolitana. Las fuentes de información en este punto fueron:

- Procesadora ambiental de residuos Ltda. Ecoworld, y
- CONAMA.

Además, para determinar el peso de los cadáveres y restos humanos se adoptó la serie de supuestos, que se incluyen en los cuadros 4.31 y 4.32.

Cuadro 4.31. N° de personas y restos humanos incinerados en cementerios de la Región Metropolitana

Entre 1984 y 1994

Cremaciones	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Hombre	514	514,5	541,5	589,5	444,5	565	534	570,5	603	600,5	551
Mujer	514	514,5	541,5	589,5	444,5	565	534	570,5	603	600,5	551
Párvulos/fetos	30	30	49	40	43	48	41	41	28	47	22
Restos humanos	103	103	90	45	64	44	52	49	37	22	25

Entre 1995 y 2004

Cremaciones	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Hombre	559	603	581	672	694,5	610	652	667,5	694	461,5
Mujer	559	603	581	672	694,5	610	652	667,5	694	461,5
Párvulos/fetos	12	25	22	21	26	68	84	85	88	10
Restos humanos	s/i	15	29	25	14	35	26	52	45	45

Cuadro 4.32. Supuestos para la determinación de masa total incinerada

Entre 1984 y 1990

Cremaciones	Masa promedio kg cb ⁻¹	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Adultos		66820	66885	70395	76635	57785	73450	69420
Hombre	70	35980	36015	37905	41265	31115	39550	37380
Mujer	60	30840	30870	32490	35370	26670	33900	32040
Párvulos/fetos	0,1	3	3	4,9	4	4,3	4,8	4,1
Restos humanos	0,15	15,45	15,45	13,5	6,75	9,6	6,6	7,8
Total		66838	66903	70413	76645	57798	73461	69431

Entre 1991 y 1997

Cremaciones	Masa promedio kg cb ⁻¹	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Adultos		74165	78390	78065	71630	72670	78390	75530
Hombre	70	39935	42210	42035	38570	39130	42210	40670
Mujer	60	34230	36180	36030	33060	33540	36180	34860
Párvulos/fetos	0,1	4,1	2,8	4,7	2,2	1,2	2,5	2,2
Restos humanos	0,15	7,35	5,55	3,3	3,75	0	2,25	4,35
Total		74176	78398	78073	71635	72671	78394	75536

Entre 1998 y 2004

Cremaciones	Masa promedio kg cb ⁻¹	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Adultos		87360	90285	79300	84760	86775	90220	59995
Hombre	70	47040	48615	42700	45640	46725	48580	32305
Mujer	60	40320	41670	36600	39120	40050	41640	27690
Párvulos/fetos	0,1	2,1	2,6	6,8	8,4	8,5	8,8	1
Restos humanos	0,15	3,75	2,1	5,25	3,9	7,8	6,75	6,75
Total		87365	90289	79312	84772	86791	90235	60002

Fuentes: Archivos de los cementerios General y Parque del Recuerdo