

Informe del Inventario Nacional de Chile 2020:
**Inventario nacional de gases de efecto
invernadero y otros contaminantes
climáticos 1990-2018**

**Área de Mitigación e Inventarios de Contaminantes Climáticos
Oficina de Cambio Climático
Ministerio del Medio Ambiente**

Diciembre 2020, Chile

CONTACTO SNICHILE

| | |
|----------------------------|--|
| Nombre de contacto: | Camila Labarca Wyneken |
| Cargos: | Coordinadora inventarios de GEI y CCVC Coordinadora del SNICHILE |
| Organización: | Ministerio del Medio Ambiente |
| Dirección postal: | San Martín 73, Santiago |
| Correo electrónico: | snichile@mma.gob.cl clabarca@mma.gob.cl |
| URL: | https://snichile.mma.gob.cl/ |

LISTADO DE AUTORES

| | |
|---------------------------------|--|
| Autor principal y editor | Richard Martínez |
| Capítulo 1 | Camila Labarca y Richard Martínez |
| Capítulo 2 | Camila Labarca y Richard Martínez |
| Capítulo 3 | Sergio Cáceres y Rubén Guzmán |
| Capítulo 4 | Camila Labarca |
| Capítulo 5 | Marta Alfaro, Francisco Salazar y Felipe Huiza |
| Capítulo 6 | Yasna Rojas, Eduardo Molina, Carlos Bahamondez Mauricio Gómez, Natalia Becar, Federico An-der Fuhren y Abraham Albornoz |
| Capítulo 7 | Camila Labarca y Tania Bishara |
| Capítulo 8 | Richard Martínez y Camila Labarca |

CITA

Ministerio del Medio Ambiente. (2021). *Informe del Inventario Nacional de Chile 2020: Inventario nacional de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990-2018*. Oficina de Cambio Climático. Santiago, Chile.

EQUIPO TÉCNICO DEL SISTEMA NACIONAL DE INVENTARIOS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE CHILE

| |
|---|
| Equipo Técnico Coordinador |
| Coordinadora del SNICHILE Camila Labarca (Ministerio del Medio Ambiente) |
| Compiladores del INGEI de Chile Camila Labarca, Richard Martínez y Kevin Basoa (Ministerio del Medio Ambiente) |
| Colaboradores Paulo Cornejo (Red Latinoamericana de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero) Jenny Mager (Ministerio del Medio Ambiente) |
| Equipo técnico de Energía |
| Sergio Cáceres (Ministerio de Energía) |
| Equipo técnico de Procesos industriales y uso de productos |
| Camila Labarca y Dolores González (Ministerio del Medio Ambiente) |
| Equipo coordinador AFOLU |
| Angelina Espinoza (Ministerio de Agricultura) |
| Equipo técnico de Agricultura |
| Marta Alfaro y Francisco Salazar (Instituto de Investigaciones Agropecuarias) |
| Equipo técnico de UTCUTS |
| Yasna Rojas, Carlos Bahamondez, Eduardo Molina y Rodrigo Sagardía (Instituto Forestal) Mauricio Gómez, Federico An-der Fuhren, Natalia Becar, Elke Huss, Daniel Montaner y Georgina Trujillo (Corporación Nacional Forestal) |
| Equipo técnico de Residuos |
| Tania Bishara y Camila Labarca (Ministerio del Medio Ambiente) |

En memoria de
Sergio Patricio González Martineaux
(1946-2019)

Padre de los inventarios de gases de efecto invernadero en Chile y mentor de todas y todos
nosotros

CONTENIDOS

| | |
|--|-----------|
| CONTENIDOS..... | 5 |
| PUNTOS CLAVE DEL IIN 2020..... | 14 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 18 |
| 1.1. Antecedentes generales..... | 19 |
| 1.1.1. Circunstancias nacionales..... | 19 |
| 1.1.2. Cambio climático..... | 28 |
| 1.2. Arreglos institucionales para la elaboración del INGEI de Chile..... | 30 |
| 1.2.1. Operación del SNICHILE..... | 31 |
| 1.2.2. Actualización del INGEI de Chile..... | 36 |
| 1.2.3. Sistema de garantía y control de calidad..... | 37 |
| 1.2.4. Creación y mantención de capacidades..... | 40 |
| 1.2.5. Archivo y comunicación..... | 41 |
| 1.3. Proceso de actualización del INGEI de Chile..... | 45 |
| 1.4. Metodología y fuentes de información..... | 48 |
| 1.4.1. Metodología y métodos..... | 48 |
| 1.4.2. Principales fuentes de información..... | 53 |
| 1.5. Categorías principales..... | 54 |
| 1.6. Evaluación general de la incertidumbre..... | 56 |
| 1.7. Evaluación general de la exhaustividad..... | 57 |
| 2. TENDENCIAS DE LAS EMISIONES Y ABSORCIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE CHILE 59 | |
| 2.1. Tendencia de las emisiones de GEI totales de Chile..... | 63 |
| 2.1.1. Tendencias de las emisiones de GEI totales por gas..... | 63 |
| 2.2. Tendencia del balance de GEI de Chile..... | 67 |
| 2.2.1. Tendencias del balance de GEI por gas..... | 68 |
| 2.3. Tendencia del balance de gases precursores y carbono negro..... | 72 |
| 2.3.1. Gases precursores..... | 72 |
| 2.3.2. Carbono negro..... | 73 |
| 2.3.3. Emisiones y balance de GEI de Chile per cápita..... | 74 |
| 3. SECTOR ENERGÍA..... | 76 |
| 3.1. Panorama general..... | 77 |
| 3.1.1. Introducción..... | 77 |
| 3.1.2. Tendencia de las emisiones de GEI..... | 77 |
| 3.1.3. Tendencia del consumo de energéticos en el país..... | 81 |
| 3.1.4. Aspectos metodológicos generales del sector..... | 83 |
| 3.1.5. Datos de actividad del sector..... | 83 |
| 3.2. Actividades de quema de combustible (1.A.)..... | 90 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 3.2.1. | Descripción de la categoría | 90 |
| 3.2.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 90 |
| 3.2.3. | Aspectos metodológicos de la categoría | 92 |
| 3.2.4. | Comparación entre el Método de referencia y el Método sectorial | 93 |
| 3.2.5. | Comparación entre información internacional y el Método sectorial | 97 |
| 3.2.6. | Combustible del transporte internacional | 99 |
| 3.2.7. | Partidas informativas: Emisiones de CO ₂ de Biomasa y uso no energético | 105 |
| 3.2.8. | Industrias de la energía (1.A.1) | 108 |
| 3.2.9. | Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2.) | 118 |
| 3.2.10. | Transporte (1.A.3.) | 130 |
| 3.2.11. | Otros sectores (1.A.4.) | 142 |
| 3.2.12. | No especificado (1.A.5.) | 149 |
| 3.3. | Emisiones fugitivas (1.B.) | 152 |
| 3.3.1. | Descripción de la categoría | 152 |
| 3.3.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 152 |
| 3.3.3. | Aspectos metodológicos de la categoría | 153 |
| 3.3.4. | Combustibles sólidos (1.B.1.) | 154 |
| 3.3.5. | Petróleo y gas natural (1.B.2.) | 158 |
| 3.3.6. | Otras emisiones provenientes de la producción de energía (1.B.3.) | 163 |
| 3.4. | Transporte y almacenamiento de CO₂ (1.C.) | 164 |
| 3.5. | Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación | 164 |
| 3.5.1. | Control de la calidad en Actividades de quema de combustible (1.A) | 164 |
| 3.5.2. | Garantía de la calidad | 166 |
| 3.5.3. | Verificación | 166 |
| 3.6. | Plan de mejora continua | 167 |
| 3.6.1. | Industrias de la energía (1.A.1) | 167 |
| 3.6.2. | Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2) | 167 |
| 3.6.3. | Transporte (1.A.3) | 167 |
| 3.6.4. | Otros sectores (1.A.4) | 167 |
| 3.6.5. | No especificado (1.A.5) | 168 |
| 3.6.6. | Combustibles sólidos (1.B.1) | 168 |
| 3.6.7. | Petróleo y gas natural (1.B.2) | 168 |
| 3.6.8. | Resumen del Plan de mejoramiento continuo | 168 |
| 4. | SECTOR PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS (2) | 170 |
| 4.1. | Panorama general | 171 |
| 4.1.1. | Introducción | 171 |
| 4.1.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 171 |
| 4.1.3. | Aspectos metodológicos generales del sector | 175 |
| 4.1.4. | Datos de actividad del sector | 176 |
| 4.2. | Industria de los minerales (2.A.) | 176 |
| 4.2.1. | Descripción de la categoría | 176 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 4.2.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 176 |
| 4.2.3. | Aspectos metodológicos de la categoría..... | 177 |
| 4.2.4. | Producción de cemento (2.A.1.) | 178 |
| 4.2.5. | Producción de cal (2.A.2.)..... | 183 |
| 4.2.6. | Producción de vidrio (2.A.3.)..... | 187 |
| 4.2.7. | Otro uso de carbonatos en los procesos (2.A.4.)..... | 189 |
| 4.2.8. | Otros (2.A.5.) | 189 |
| 4.3. | Industria química (2.B.) | 189 |
| 4.3.1. | Descripción de la categoría | 189 |
| 4.3.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 190 |
| 4.3.3. | Aspectos metodológicos de la categoría..... | 191 |
| 4.3.4. | Producción de amoníaco (2.B.1.)..... | 191 |
| 4.3.5. | Producción de ácido nítrico (2.B.2.)..... | 192 |
| 4.3.6. | Producción de ácido adípico (2.B.3.)..... | 196 |
| 4.3.7. | Producción de caprolactama glioxil y ácido glioxílico (2.B.4.) | 196 |
| 4.3.8. | Producción de carburo (2.B.5.) | 197 |
| 4.3.9. | Producción de dióxido de titanio (2.B.6.) | 197 |
| 4.3.10. | Producción de ceniza de sosa (2.B.7.) | 197 |
| 4.3.11. | Producción petroquímica y de negro de humo (2.B.8.) | 197 |
| 4.3.12. | Producción fluoroquímica (2.B.9.) | 202 |
| 4.3.13. | Otros (2.B.10.) | 202 |
| 4.4. | Industria de los metales (2.C.) | 202 |
| 4.4.1. | Descripción de la categoría | 202 |
| 4.4.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 203 |
| 4.4.3. | Aspectos metodológicos de la categoría..... | 204 |
| 4.4.4. | Producción de hierro y acero (2.C.1.)..... | 205 |
| 4.4.5. | Producción de ferroaleaciones (2.C.2.)..... | 210 |
| 4.4.6. | Producción de aluminio (2.C.3.) | 213 |
| 4.4.7. | Producción de magnesio (2.C.4.) | 213 |
| 4.4.8. | Producción de plomo (2.C.5.) | 213 |
| 4.4.9. | Producción de cinc (2.C.6.) | 215 |
| 4.4.10. | Otros (2.C.7.) | 215 |
| 4.5. | Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes (2.D.) | 215 |
| 4.5.1. | Descripción de la categoría | 215 |
| 4.5.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 215 |
| 4.5.3. | Aspectos metodológicos de la categoría..... | 216 |
| 4.5.4. | Uso de lubricantes (2.D.1.) | 217 |
| 4.5.5. | Uso de la cera de parafina (2.D.2.) | 220 |
| 4.5.6. | Uso de solventes (4.D.3.) | 223 |
| 4.5.7. | Otros (4.D.4.) | 223 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 4.6. | Industria electrónica (2.E.)..... | 223 |
| 4.7. | Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (2.F.) | 223 |
| 4.7.1. | Descripción de la categoría | 223 |
| 4.7.2. | Tendencia de las emisiones de GEI..... | 224 |
| 4.7.3. | Aspectos metodológicos de la categoría..... | 225 |
| 4.7.4. | Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1.)..... | 226 |
| 4.7.5. | Agentes espumantes (2.F.2.) | 236 |
| 4.7.6. | Protección contra incendios (2.F.3.) | 240 |
| 4.7.7. | Aerosoles (2.F.4.) | 244 |
| 4.7.8. | Solventes (2.F.5.) | 247 |
| 4.7.9. | Otras aplicaciones (2.F.6.) | 250 |
| 4.8. | Manufactura y utilización de otros productos (2.G.) | 250 |
| 4.8.1. | Descripción de la categoría | 250 |
| 4.8.2. | Tendencia de las emisiones de GEI..... | 251 |
| 4.8.3. | Aspectos metodológicos de la categoría..... | 251 |
| 4.8.4. | Equipos eléctricos (2.G.1.)..... | 252 |
| 4.8.5. | SF ₆ y PFC de otros usos de productos (2.G.2.)..... | 258 |
| 4.8.6. | N ₂ O de otros usos de productos (2.G.3.)..... | 258 |
| 4.8.7. | Otros (2.G.4.) | 260 |
| 4.9. | Otros (2.H.)..... | 260 |
| 5. | SECTOR AGRICULTURA (3)..... | 261 |
| 5.1. | Panorama general | 262 |
| 5.1.1. | Introducción | 262 |
| 5.1.2. | Tendencia de las emisiones de GEI..... | 262 |
| 5.1.3. | Aspectos metodológicos generales del sector | 265 |
| 5.1.4. | Datos de actividad del sector | 266 |
| 5.2. | Fermentación entérica (3.A.) | 266 |
| 5.2.1. | Descripción de la categoría | 266 |
| 5.2.2. | Tendencia de las emisiones de GEI..... | 267 |
| 5.2.3. | Aspectos metodológicos de la categoría..... | 268 |
| 5.2.4. | Datos de actividad de la categoría..... | 269 |
| 5.2.5. | Ganado vacuno (3.A.1.)..... | 270 |
| 5.2.6. | Ovinos (3.A.2.) | 281 |
| 5.2.7. | Porcinos (3.A.3.)..... | 285 |
| 5.2.8. | Otras especies (3.A.4.) | 290 |
| 5.3. | Gestión del estiércol (3.B.)..... | 296 |
| 5.3.1. | Descripción de la categoría | 296 |
| 5.3.2. | Tendencia de las emisiones de GEI..... | 296 |
| 5.3.3. | Aspectos metodológicos de la categoría..... | 297 |
| 5.3.4. | Datos de actividad de la categoría..... | 297 |
| 5.3.5. | Ganado vacuno (3.B.1.)..... | 298 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5.3.6. | Ovinos (3.B.2.) | 307 |
| 5.3.7. | Porcinos (3.B.3.)..... | 311 |
| 5.3.8. | Otras especies (3.B.4.)..... | 317 |
| 5.3.9. | Emisiones indirectas de N ₂ O resultantes de la gestión del estiércol (3.B.5.)..... | 322 |
| 5.4. | Cultivo del arroz (3.C.) | 326 |
| 5.4.1. | Descripción de la categoría | 326 |
| 5.4.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 327 |
| 5.4.3. | Aspectos metodológicos de la categoría..... | 327 |
| 5.4.4. | Incertidumbre | 330 |
| 5.4.5. | Consistencia de la serie temporal..... | 330 |
| 5.4.6. | Procedimientos de garantía y control de la calidad y verificación | 330 |
| 5.4.7. | Recálculos | 331 |
| 5.4.8. | Plan de mejoramiento..... | 332 |
| 5.5. | Suelos agrícolas (3.D.)..... | 332 |
| 5.5.1. | Descripción de la categoría | 332 |
| 5.5.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 333 |
| 5.5.3. | Aspectos metodológicos de la categoría..... | 334 |
| 5.5.4. | Emisiones directas de N ₂ O de suelos agrícolas (3.D.1.) | 335 |
| 5.5.5. | Emisiones indirectas de N ₂ O de suelos agrícolas (3.D.2.) | 342 |
| 5.6. | Quema prescrita de sabanas (3.E.)..... | 349 |
| 5.6.1. | Descripción de la categoría | 349 |
| 5.7. | Quema de residuos agrícolas en el campo (3.F.) | 349 |
| 5.7.1. | Descripción de la categoría | 349 |
| 5.7.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 349 |
| 5.7.3. | Aspectos metodológicos de la categoría..... | 350 |
| 5.7.4. | Datos de actividad de la categoría..... | 350 |
| 5.7.5. | Cereales y otros cultivos (3.F.1.)..... | 350 |
| 5.7.6. | Frutícolas (3.F.2.) | 357 |
| 5.8. | Encalado (3.G.) | 362 |
| 5.8.1. | Descripción de la categoría | 362 |
| 5.8.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 362 |
| 5.8.3. | Aspectos metodológicos de la categoría..... | 363 |
| 5.8.4. | Incertidumbre | 365 |
| 5.8.5. | Consistencia de la serie temporal..... | 365 |
| 5.8.6. | Procedimientos de garantía y control de la calidad y verificación | 366 |
| 5.8.7. | Recálculos | 367 |
| 5.8.8. | Plan de mejoramiento..... | 367 |
| 5.9. | Aplicación de urea (3.H.)..... | 368 |
| 5.9.1. | Descripción de la categoría | 368 |
| 5.9.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 368 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 5.9.3. | Aspectos metodológicos de la categoría..... | 368 |
| 5.9.4. | Incertidumbre | 370 |
| 5.9.5. | Consistencia de la serie temporal..... | 371 |
| 5.9.6. | Procedimientos de garantía y control de la calidad y verificación | 371 |
| 5.9.7. | Verificación..... | 371 |
| 5.9.8. | Recálculos | 371 |
| 5.9.9. | Plan de mejoramiento..... | 372 |
| 5.10. | Otros fertilizantes que contienen carbono (3.I.)..... | 372 |
| 5.11. | Otros (3.J.) | 372 |
| 6. | SECTOR USO DE LA TIERRA, CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA (4) | 373 |
| 6.1. | Panorama general | 374 |
| 6.1.1. | Introducción | 374 |
| 6.1.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 376 |
| 6.1.3. | Aspectos metodológicos generales del sector..... | 379 |
| 6.2. | Definiciones de uso de la tierra y los sistemas de clasificación utilizados | 380 |
| 6.3. | Métodos utilizados para la representación de las tierras | 383 |
| 6.3.1. | Matriz de cambio de usos de la tierra | 388 |
| 6.4. | Tierras forestales (4.A.) | 390 |
| 6.4.1. | Descripción de la categoría | 390 |
| 6.4.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 392 |
| 6.4.3. | Aspectos metodológicos de la categoría | 397 |
| 6.4.4. | Incertidumbre..... | 413 |
| 6.4.5. | Consistencia de la serie temporal | 414 |
| 6.4.6. | Procedimiento de garantía y control de calidad | 414 |
| 6.4.7. | Recálculos | 415 |
| 6.4.8. | Plan de mejoramiento..... | 416 |
| 6.5. | Tierras de cultivo (4.B.)..... | 418 |
| 6.5.1. | Descripción de la categoría | 418 |
| 6.5.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 418 |
| 6.5.3. | Aspectos metodológicos de la categoría | 421 |
| 6.5.4. | Incertidumbre..... | 424 |
| 6.5.5. | Consistencia de la serie temporal | 425 |
| 6.5.6. | Procedimiento de garantía y control de calidad | 425 |
| 6.5.7. | Recálculos | 426 |
| 6.5.8. | Plan de mejoramiento..... | 427 |
| 6.6. | Pastizales (4.C.) | 428 |
| 6.6.1. | Descripción de la categoría | 428 |
| 6.6.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 428 |
| 6.6.3. | Aspectos metodológicos de la categoría | 430 |
| 6.6.4. | Incertidumbre..... | 433 |
| 6.6.5. | Consistencia de la serie temporal | 434 |

| | | |
|--------------|---|------------|
| 6.6.6. | Procedimiento de garantía y control de calidad | 434 |
| 6.6.7. | Recálculos | 434 |
| 6.6.8. | Plan de mejoramiento | 435 |
| 6.7. | Humedales (4.D.) | 436 |
| 6.7.1. | Descripción de la categoría | 436 |
| 6.7.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 436 |
| 6.7.3. | Aspectos metodológicos de la categoría | 438 |
| 6.7.4. | Incertidumbre | 439 |
| 6.7.5. | Consistencia de la serie temporal | 439 |
| 6.7.6. | Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación | 439 |
| 6.7.7. | Recálculos | 440 |
| 6.7.8. | Plan de mejoramiento | 441 |
| 6.8. | Asentamientos (4.E.) | 441 |
| 6.8.1. | Descripción de la categoría | 441 |
| 6.8.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 442 |
| 6.8.3. | Aspectos metodológicos de la categoría | 444 |
| 6.8.4. | Incertidumbre | 446 |
| 6.8.5. | Consistencia de la serie temporal | 446 |
| 6.8.6. | Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación | 446 |
| 6.8.7. | Recálculos | 447 |
| 6.8.8. | Plan de mejoramiento | 448 |
| 6.9. | Otras tierras (4.F.) | 448 |
| 6.9.1. | Descripción de la categoría | 448 |
| 6.9.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 448 |
| 6.9.3. | Aspectos metodológicos de la categoría | 450 |
| 6.9.4. | Incertidumbre | 451 |
| 6.9.5. | Consistencia de la serie temporal | 452 |
| 6.9.6. | Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación | 452 |
| 6.9.7. | Recálculos | 453 |
| 6.9.8. | Plan de mejoramiento | 454 |
| 6.10. | Productos de la Madera Recolectada (4.G.) | 454 |
| 6.10.1. | Descripción de la categoría | 454 |
| 6.10.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 455 |
| 6.10.3. | Aspectos metodológicos de la categoría | 456 |
| 6.10.4. | Incertidumbre | 459 |
| 6.10.5. | Consistencia de la serie temporal | 459 |
| 6.10.6. | Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación | 459 |
| 6.10.7. | Plan de mejoramiento | 460 |
| 7. | SECTOR RESIDUOS (5) | 461 |
| 7.1. | Panorama general | 462 |
| 7.1.1. | Introducción | 462 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 7.1.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 463 |
| 7.1.3. | Aspectos metodológicos generales del sector..... | 466 |
| 7.1.4. | Datos de actividad del sector | 466 |
| 7.1. | Disposición de residuos sólidos (5.A.) | 466 |
| 7.1.1. | Descripción de la categoría | 466 |
| 7.1.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 467 |
| 7.1.3. | Aspectos metodológicos de la categoría | 469 |
| 7.1.4. | Incertidumbre..... | 477 |
| 7.1.5. | Consistencia de la serie temporal | 479 |
| 7.1.6. | Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación | 479 |
| 7.1.7. | Recálculos | 479 |
| 7.1.8. | Plan de mejoramiento..... | 480 |
| 7.2. | Tratamiento biológico de los residuos sólidos (5.B.) | 480 |
| 7.2.1. | Descripción de la categoría | 480 |
| 7.2.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 481 |
| 7.2.3. | Aspectos metodológicos de la categoría | 481 |
| 7.2.4. | Incertidumbre..... | 483 |
| 7.2.5. | Consistencia de la serie temporal | 483 |
| 7.2.6. | Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación | 483 |
| 7.2.7. | Recálculos | 483 |
| 7.2.8. | Plan de mejoramiento..... | 484 |
| 7.3. | Incineración e incineración abierta de residuos (5.C.) | 484 |
| 7.3.1. | Descripción de la categoría | 484 |
| 7.3.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 485 |
| 7.3.3. | Aspectos metodológicos de la categoría | 486 |
| 7.3.4. | Incineración de residuos (5.C.1.)..... | 486 |
| 7.3.5. | Incineración abierta de residuos (5.C.2.)..... | 490 |
| 7.4. | Tratamiento y descarga de aguas residuales (5.D.) | 494 |
| 7.4.1. | Descripción de la categoría | 495 |
| 7.4.2. | Tendencia de las emisiones de GEI | 495 |
| 7.4.3. | Aspectos metodológicos de la categoría | 496 |
| 7.4.4. | Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas (5.D.1.) | 496 |
| 7.4.5. | Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales (5.D.2.)..... | 513 |
| 8. | RECÁLCULOS | 519 |
| 8.1. | Recálculos en el INGEI de Chile | 520 |
| 8.2. | Recálculos en el sector Energía | 521 |
| 8.3. | Recálculos en el sector IPPU | 521 |
| 8.4. | Recálculos en el sector Agricultura | 522 |
| 8.5. | Recálculos en el sector UTCUTS | 523 |
| 8.6. | Recálculos en el sector Residuos..... | 523 |

9. REFERENCIAS..... 525

PUNTOS CLAVE DEL IIN 2020

Puntos clave del INGEI de Chile serie 1990-2018

- En el 2018, las emisiones de gases de efecto invernadero totales del país (excluyendo UTCUTS) fueron de 112.313 kt CO₂ eq, incrementándose en un 128 % desde 1990 y en un 2 % desde 2016. El principal GEI emitido fue el CO₂ (78 %), seguido del CH₄ (13 %), N₂O (6 %), y los Gases fluorados (3 %).
- El sector Energía es el principal emisor de GEI representando el 77 % de las emisiones totales en 2018, mayoritariamente por las emisiones producto de la quema de carbón mineral y gas natural para la generación eléctrica; y de combustibles líquidos para el transporte terrestre.
- El sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS) es el único que absorbe GEI en el país, y se mantiene como sumidero durante toda la serie temporal. En el 2018, el balance de GEI contabilizó -63.992 kt CO₂ eq debido principalmente al incremento de la biomasa en renovales de bosque nativo y en plantaciones forestales. Se destaca un máximo de emisiones del sector en 2017 cuando fueron afectadas 570.000 ha por incendios en Tierras forestales, Tierras de cultivo y Pastizales.
- El balance entre emisiones y absorciones de GEI de Chile (incluyendo UTCUTS) alcanzó los 48.321 kt CO₂ eq.

RESUMEN EJECUTIVO

Introducción

El presente es el Sexto Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) presentado por Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en cumplimiento del artículo 4, párrafo 1(a), y el artículo 12, párrafo 1(a), de dicha Convención, y la decisión 1 de la Conferencia de las Partes número 16 de Cancún.

El INGEI de Chile fue elaborado siguiendo las *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*, abarca todo el territorio nacional e incluye las emisiones y absorciones de dióxido de carbono (CO₂) y las emisiones de metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆) en una serie de tiempo que va desde 1990 a 2018.

Arreglos institucionales y elaboración del INGEI de Chile

Desde 2012, el Área de Inventarios de GEI del Oficina de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente (OCC del MMA) diseñó, implementó y ha mantenido el Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero de Chile (SNICHILE), que contiene las medidas institucionales, jurídicas y de procedimiento establecidas para la actualización bienal del INGEI de Chile, garantizando de esta forma la sostenibilidad de la preparación de los inventarios de GEI en el país, la coherencia de los flujos de GEI notificados y la calidad de los resultados. El SNICHILE lo componen equipos del Ministerio de Energía, Ministerio de Agricultura y MMA y la elaboración del INGEI actual comenzó durante el primer semestre de 2019, y concluyó a mediados de 2020.

Tendencias de las emisiones de gases de efecto invernadero de Chile

En 2018 las emisiones de GEI totales del país se incrementan en 129 % desde 1990 y en un 2 % desde 2016 (Tabla RE1). Los principales causantes de esta tendencia son la quema de combustibles fósiles y las Tierras forestales. Los valores que escapan de la tendencia en el balance (Figura RE1) son consecuencia, principalmente, de los incendios forestales contabilizados en el sector UTCUTS.

Tabla RE1. INGEI de Chile: balance y emisiones totales de GEI (kt CO₂ eq) por sector

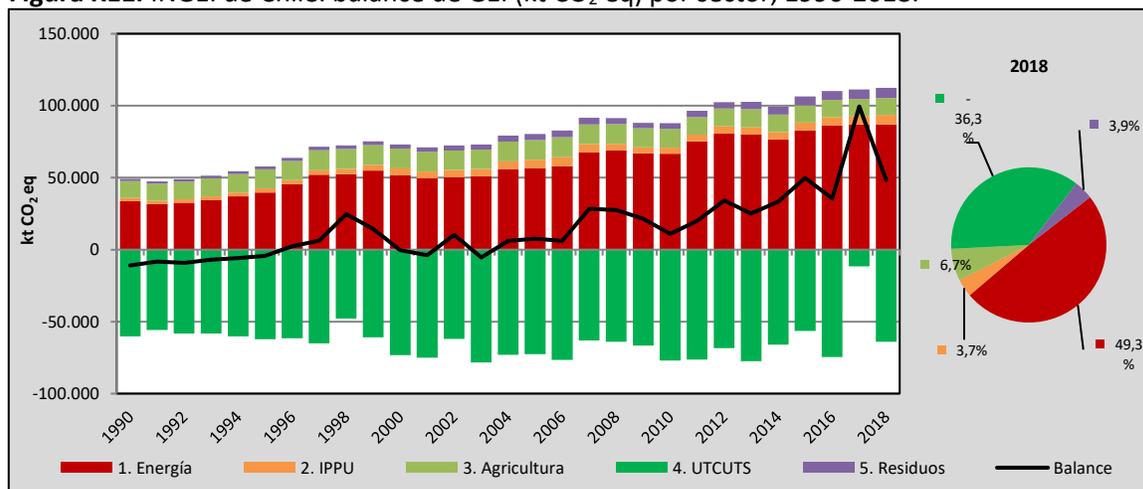
| Sector | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1. Energía | 33.631,4 | 51.746,4 | 66.607,7 | 79.901,3 | 86.191,0 | 86.896,1 | 86.954,3 |
| 2. IPPU | 2.224,2 | 4.803,6 | 4.279,6 | 5.084,5 | 5.977,1 | 6.079,8 | 6.611,3 |
| 3. Agricultura | 11.834,8 | 13.708,9 | 12.921,1 | 12.597,4 | 11.881,3 | 11.724,0 | 11.789,4 |
| 4. UTCUTS | -60.152,6 | -73.364,3 | -76.966,4 | -77.561,5 | -74.697,9 | -11.710,3 | -63.991,9 |
| 5. Residuos | 1.519,0 | 2.742,6 | 4.133,6 | 5.095,1 | 6.106,6 | 6.515,7 | 6.957,6 |
| Balance¹ | - 10.943,1 | - 362,9 | 10.975,6 | 25.116,9 | 35.458,2 | 99.505,3 | 48.320,7 |
| Total² | 49.209,5 | 73.001,4 | 87.942,1 | 102.678,4 | 110.156,0 | 111.215,6 | 112.312,6 |

¹ El término «balance de GEI» se refiere a la sumatoria de las emisiones y absorciones de GEI, expresadas en dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq). Este término incluye al sector UTCUTS en su totalidad.

² En el presente informe, el término «emisiones de GEI totales» refiere solo a la sumatoria de las emisiones de GEI nacionales, expresadas en dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq). Este término excluye las fuentes de emisiones y sumideros de absorción del sector UTCUTS.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Figura RE1. INGEI de Chile: balance de GEI (kt CO₂ eq) por sector, 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Las emisiones de GEI totales estuvieron dominadas por el CO₂, que representó el 78 %, seguido del CH₄ con el 13 % y del N₂O con el 6 %. Los gases fluorados contabilizan colectivamente el 3 % de las emisiones de GEI totales del país al 2018.

El sector Energía es el principal emisor nacional de GEI alcanzando un 77 % del total nacional e incrementando en 159 % desde 1990 y de 1 % desde 2016. El principal causante de la tendencia es el aumento sostenido de consumo energético del país, incluyendo el consumo de carbón mineral y gas natural para la generación eléctrica y el consumo de combustibles líquidos para transporte terrestre mayormente diésel y gasolina. Las principales subcategorías son *Industrias de la energía* con el 39 % de participación, seguida de un 33 % de *Transporte*, 18 % de *Industrias manufactureras y de la construcción* y 9 % de *Otros sectores*.

El sector IPPU, 6 % del total de emisiones en 2018, incrementó en un 197 % desde 1990 y en un 11 % desde 2016. Esto se explica debido principalmente al aumento del uso de los HFC en la refrigeración, sumado al crecimiento sostenido, aunque irregular, de las emisiones de las industrias del cemento, cal y el vidrio. En 2018 el 58 % de las emisiones de GEI corresponden a la categoría *Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono*, seguido de un 23 % de *Industria de los minerales*.

El sector Agricultura representó el 11 % de las emisiones de GEI totales en 2018, disminuyendo en un 0,4 % desde 1990 y en un 0,8 % desde 2016, debido mayormente a la baja de la población del ganado bovino y ovino que se ha registrado durante la última década. Respecto a las categorías, el 42 % de las emisiones de GEI corresponden a *Fermentación Entérica*, le siguen con 40 % de *Suelos Agrícolas* y 13 % por *Gestión del Estiércol*.

El sector UTCUTS es el único que consistentemente absorbe CO₂ en el país, lo que lo convierte en uno de los más relevantes por su potencial de mitigación. Al 2018 aumentó su condición de sumidero en un 6 % desde 1990 y la disminuyó en un 14 % desde 2016. Las categorías de *Tierras forestales* y los *Productos de madera recolectada* son las más importantes del sector en términos absolutos entre emisiones y absorciones del sector con un 83 % y un 10 % respectivamente. Los

incendios forestales tienen un efecto importante en la tendencia de las emisiones y absorciones de GEI debido a que son capaces de alterar las tendencias, generando máximas de emisiones en 1998, 1999, 2002, 2015 y 2017.

El sector Residuos representó el 6 % de las emisiones de GEI totales en 2018, incrementándose en un 358 % desde 1990 y en un 14 % desde 2016, debido al aumento de la población y sus residuos generados y al aumento de residuos industriales. El 65 % de sus emisiones corresponden a la categoría *Disposición de residuos sólidos* y el 30 % a *Tratamiento y descarga de aguas residuales*.

1. INTRODUCCIÓN

El presente es el *Informe del Inventario Nacional de Chile 2020: Inventario nacional de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990-2018* (IIN 2020) que incluye el sexto inventario nacional de gases de efecto invernadero presentado por el país ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en cumplimiento del artículo 4, párrafo 1(a), y del artículo 12, párrafo 1(a), de dicha Convención, y de la decisión 1 de la Conferencia de las Partes número 16 de Cancún, en 2010.

El Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) de Chile, que se elaboró siguiendo las *Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*³, abarca todo el territorio nacional e incluyendo las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropógeno no controlados por el Protocolo de Montreal en una serie de tiempo que va desde 1990 a 2018. Los resultados de las estimaciones de GEI y gases precursores son presentados a nivel nacional; en kilotoneladas⁴ (kt); y hacen referencia al 2018, último año del inventario, a menos que se especifique algo distinto. Los números positivos representan emisiones de GEI y gases precursores mientras que los negativos corresponden a absorciones de GEI. El Inventario Nacional de Carbono Negro, es el segundo elaborado por el país en línea con el INGEI. Esta actualización incluye la serie 1990-2018 y considera mejoras metodológicas, aplicadas a toda la serie, principalmente usando factores de emisión más representativos de la realidad nacional.

En este capítulo se presentan los antecedentes generales sobre el INGEI de Chile, arreglos institucionales, proceso de actualización, metodología, categorías claves, incertidumbre y exhaustividad.

En el capítulo 2 se detalla la tendencia de las emisiones y absorciones de GEI de Chile e indicadores de intensidad de GEI.

En los capítulos 3 al 7 se presenta información detallada de los cinco sectores que forman parte del INGEI: Energía; Procesos industriales y uso de productos (IPPU); Agricultura; Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS); y Residuos.

En el capítulo 8 se resume la realización de recálculos, su justificación y efecto en la tendencia de las emisiones y absorciones nacionales.

En el ANEXO 12 se encuentra un listado de los acrónimos y siglas de este Informe.

1.1. Antecedentes generales

1.1.1. Circunstancias nacionales

Para facilitar la interpretación del INGEI de Chile se presenta el perfil territorial y geográfico de Chile, extraído del *Cuarto Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático* (4IBA) (MMA, 2020)⁵.

³ *Directrices del IPCC de 2006* en lo sucesivo

⁴ Una kilotonelada (kt) es equivalente a un gigagramo (Gg) o 1.000 toneladas.

⁵ Disponible en <https://unfccc.int/documents/267936>

1.1.1.1. Territorio y división administrativa

Chile es un país tricontinental cuyo territorio se asienta en la parte occidental y meridional de América del Sur. Incluye la Isla de Pascua, en Oceanía, y se prolonga hacia el sur en la Antártica. También forman parte del territorio nacional, el archipiélago Juan Fernández y las islas Salas y Gómez, San Félix y San Ambrosio. Además, comprende la zona económica exclusiva de 200 millas náuticas y la plataforma continental correspondiente.

El territorio sudamericano de Chile se sitúa entre los 17°30' y 56°30' LS (latitud sur); el territorio antártico comprende el área entre los meridianos 53° y 90° LO (longitud oeste) hasta el polo sur, y el insular occidental las islas y archipiélagos mencionados arriba. La superficie total del país es de 2.006.096 km², sin considerar el territorio marítimo (mar territorial, zona económica exclusiva y plataforma continental) y se distribuye en 755.932 km² correspondientes a América del Sur, 1.250.000 km² a la Antártica y 163 km² a Oceanía. Chile limita al norte con Perú, al este con Bolivia y Argentina, al sur con el polo Sur y al oeste con el océano Pacífico, que baña sus costas en una extensión latitudinal de 8.000 km. aproximadamente.

El territorio marítimo de Chile se extiende por el norte, desde el límite marítimo con Perú hasta las riberas del continente antártico por el sur, exceptuando la porción de alta mar que se conforma en el Paso de Drake, entre el Cabo de Hornos y la Península Antártica o Tierra de O'Higgins (Ministerio de Defensa Nacional, 2010).

Chile es una república unitaria cuyo marco político-administrativo se estructura en tres niveles territoriales de gobierno: regiones administrativas, provincias y comunas⁶. La región administrativa corresponde a una unidad territorial con características geográficas propias y con condiciones sociales, económicas y culturales en rangos afines y con superficies dispares. En el ANEXO 12 se encuentra la asignación de una sigla y un nombre corto para cada región.

1.1.1.2. Geografía y morfología

El relieve del país, en el territorio sudamericano, se ve determinado principalmente por las siguientes tres unidades morfológicas: Cordillera de los Andes, al este; Cordillera de la Costa, al oeste; y Depresión Intermedia, ubicada entre ambos sistemas montañosos. Existen otras unidades de relieve, de menor magnitud, como son las Planicies Litorales, el Altiplano, valles transversales y la Estepa Magallánica. Estos elementos hacen de Chile un país muy accidentado donde las áreas planas no superan el 20 % del territorio continental.

Chile posee una multiplicidad de climas que se producen fundamentalmente por su latitud y altura, que dan origen a cuatro macrobioclimas: tropical, mediterráneo, templado y antiboreal, dentro de los cuales se distribuyen 125 ecosistemas (pisos de vegetación) terrestres y 96 ecosistemas marinos a lo largo de la costa chilena.

1.1.1.3. Uso de la tierra

⁶ La Constitución Política de la República de Chile señala en su artículo 110 que «Para el gobierno y administración interior del Estado, el territorio de la República se divide en regiones y estas en provincias. Para los efectos de la administración local, las provincias se dividirán en comunas. La creación, supresión y denominación de regiones, provincias y comunas; la modificación de sus límites, así como la fijación de las capitales de las regiones y provincias, serán materia de Ley Orgánica Constitucional» y de iniciativa exclusiva del presidente de la República.

Debido a las condiciones bioclimáticas y geomorfológicas de Chile, gran parte de la población nacional se encuentra establecida en la depresión intermedia de la zona central, lo que ha determinado los patrones de uso de la tierra observados en el país. En la Tabla 1 se muestran las superficies por tipo para diferentes años entre 1990 y 2018. En 2018, la mayor parte del territorio correspondía a *Otras tierras* (35,1%), *Pastizales* (28,0%) y *Tierras forestales* (25,7%). Los *Asentamientos* ocupan solo el 0,7% de la superficie total, aunque manifiestan una sostenida tendencia al alza.

Tabla 1. Cambio de uso de tierra desagregada por tipo (hectáreas)

| Uso de la tierra | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Tierras forestales | 18.236.954 | 18.795.517 | 19.318.511 | 19.449.754 | 19.435.895 | 19.428.723 | 19.421.551 |
| Tierras de cultivo | 3.623.632 | 3.394.766 | 3.241.855 | 3.210.089 | 3.167.061 | 3.152.867 | 3.138.674 |
| Pastizales | 22.088.200 | 21.664.647 | 21.215.728 | 21.096.536 | 21.145.464 | 21.164.099 | 21.182.734 |
| Humedales | 4.806.550 | 4.800.243 | 4.795.507 | 4.795.119 | 4.791.726 | 4.790.372 | 4.789.017 |
| Asentamientos | 287.155 | 386.315 | 467.931 | 487.198 | 494.529 | 498.424 | 502.319 |
| Otras tierras | 26.537.375 | 26.538.380 | 26.540.335 | 26.541.172 | 26.545.192 | 26.545.381 | 26.545.571 |
| Total | 75.579.867 |

Fuente: Elaboración propia con base en información de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) provista para el INGEI 1990-2018.

1.1.1.4. Estado del medio ambiente

El *Quinto Reporte del Estado del Medio Ambiente* (MMA, 2019), publicado en 2019, entrega una actualización de indicadores y estadísticas ambientales del país, constituyendo un instrumento esencial para evaluar los avances en materia ambiental. A continuación, se presenta una breve descripción de la información contenida en este documento para 2019.

Respecto a la calidad de aire, en este reporte se indica que sigue siendo una de las prioridades en materia de gestión ambiental. Gran parte de la población del territorio nacional, principalmente aquella de las ciudades de las zonas centro y sur, se encuentra afectada por problemas de contaminación, para lo cual se están implementando diversas acciones, entre ellas, 16 zonas con planes de descontaminación vigentes y el trabajo con las comunidades para mejorar la eficiencia energética de los hogares. En esta materia, tal como han mostrado las distintas estadísticas a nivel nacional, la combustión de leña sigue siendo la principal emisora de MP_{2,5} para 2018, mientras que las fuentes móviles, termoeléctricas y otros procesos industriales son los mayores responsables de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x). Las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) están lideradas principalmente por las fundiciones, debido al contenido de azufre de las materias primas procesadas en las actividades industriales.

Por otra parte, Chile no es ajeno a los problemas de escasez de agua. Los cambios en los patrones de precipitación, la menor acumulación de nieve y las altas temperaturas son factores que han incrementado la sequía que Chile vive desde alrededor de 12 años, afectando a todo el territorio, especialmente la zona norte y centro del país. Asimismo, la sobreexplotación de acuíferos, el uso intensivo de agua por parte de los sectores productivos y la contaminación del agua, han potenciado la escasez del recurso. Hasta octubre de 2020, la Dirección General de Aguas (DGA) declaró 76 zonas con escasez hídrica, concentradas en las regiones de Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana (DGA, 2020).

Los residuos se mantienen como un problema significativo y de continuar el crecimiento económico esto se agravará. Entre 2016 y 2017 hubo un aumento en la generación per cápita de residuos municipales a nivel nacional, pasando de 398 a 441 kg/hab/año, lo que se traduce en una tasa promedio diaria de 1,2 kg/hab/día para 2017. Por su parte, la valorización per cápita anual pasó de 5,6 a 8,5 kg/hab/año en el mismo periodo. Como respuesta a esta problemática, durante los últimos años el Gobierno de Chile ha impulsado la Ley Marco para la Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje, conocida como Ley REP, bajo el principio de que «el que contamina paga».

Respecto al clima, se han incrementado las temperaturas y la frecuencia e intensidad de olas de calor, temporales, inundaciones, sequías, incendios forestales, marejadas. También se observa la disminución de caudales y glaciares, pérdida de biodiversidad, entre otros fenómenos. En cuanto a las olas de calor, aunque existen diferencias según zonas del país, a nivel agregado nacional se observa una tendencia al alza en la cantidad de eventos en el periodo 1980-2017, lo que se ve reflejado en temporadas con mayor número de eventos 1997-1998 (53), 2015-2016 (51) y 2016-2017 (51). Sin embargo, en la temporada 2017-2018 hubo una notable disminución llegando solo a 13.

Aunque en la mayoría de las zonas del país existe una tendencia de disminución de precipitaciones, en el periodo 1961-2016 se observa que su intensidad tiene una alta variación. Los años de mayores precipitaciones extremas fueron 1992, 1997, 2002 y 2008, superando, los tres primeros, los 1.800 mm/año. El índice de sequía en el periodo 1972-2018 muestra claros eventos multianuales sobre todo en el periodo 2006-2018, en el que el déficit de precipitación se ha denominado mega sequía por ser el periodo de mayor duración y extensión territorial.

En relación con biodiversidad, la Estrategia Nacional de Biodiversidad vigente planteó proteger un 10 % de la superficie de ecosistemas más relevantes del país, alcanzándose esta meta en varios de los ecosistemas terrestres descritos a nivel nacional. Esta estrategia se está actualizando en línea con el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 y las Metas de Aichi. Al 2018, existen 1.210 especies clasificadas en alguna categoría de conservación en Chile; las principales categorías de especies clasificadas con relación al total de especies conocidas son anfibios, reptiles y mamíferos. En cuanto a áreas protegidas, entre 2017 y 2018 hubo un aumento sustancial de Áreas Marinas Costeras Protegidas.

1.1.1.5. Contexto social

1.1.1.5.1. Población

De acuerdo con el último censo poblacional de 2017, la población total de Chile es de 17.574.003 habitantes, de la cual 48,9 % son hombres y 51,1 % son mujeres (INE, 2017). La población chilena experimentó un importante crecimiento durante el siglo XX, pero la tasa de crecimiento se redujo en la primera década del siglo XXI y se proyecta que disminuirá aún más hacia el 2050.

A través de los años la población ha envejecido, lo que se aprecia en los cambios en la distribución de los grupos de edad: hay una disminución en el número de personas entre 0-14 años y un incremento en el número de personas de 65 años o más. Esto también se refleja en la razón de dependencia, ya que ha aumentado la dependencia de adultos mayores y disminuido la de menores (INE, 2017).

Tabla 2. Indicadores de población de Chile desagregada por grupo etario

| Población | Censo 1992 | Censo 2002 | Censo 2017 |
|--------------------------------|------------|------------|------------|
| Población total | 13.348.401 | 15.116.435 | 17.574.003 |
| Población 0-14 años | 29,4% | 25,7% | 20,1% |
| Población 15-64 años | 64,0% | 66,2% | 68,5% |
| Población 65 años o más | 6,6% | 8,1% | 11,4% |
| Porcentaje población urbana | 83,5% | 86,6% | 87,8% |
| Relación adultos mayores/niños | 22,3% | 31,3% | 56,9% |

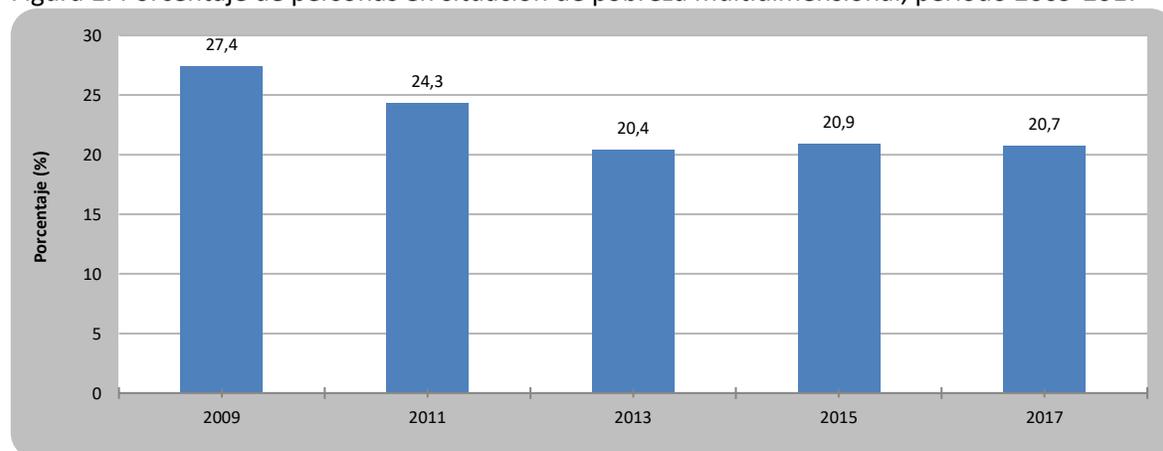
Fuente: Elaborado por el MMA con base en el Censo de Población 2017 del INE (INE, 2017).

1.1.1.5.2. Desarrollo social

Si bien Chile presenta una evolución positiva del Índice de Desarrollo Humano (IDH)⁷, creciendo un 32% entre 1980 al 2017 (de 0,64 a 0,84) (PNUD, 2019), la desigualdad sigue siendo uno de los mayores desafíos del país. Entre los años 2006-2017, los ingresos del 10 % de la población más rica del país fueron 27 veces más altos que los del 10 % de la población más pobre y el coeficiente de Gini es de 0,495, según ingreso autónomo (MIDESO, 2016).

La Figura 1 muestra una tendencia a la disminución significativa de la pobreza entre 2009 y 2017, donde la mayor diferencia la encontramos entre 2009 y 2013. En 2013, la pobreza multidimensional afectaba al 20,4% de las personas, cifra significativamente menor a la registrada para 2009⁸, en que el porcentaje de población en situación de pobreza alcanzaba el 27,4 %. Por su parte, la diferencia de pobreza multidimensional entre 2015 y 2017 es solo de un 0,2 %.

Figura 1. Porcentaje de personas en situación de pobreza multidimensional, período 2009-2017



Fuente: Encuesta CASEN 2009-2017 (MIDESO, 2018)

El análisis de la distribución del ingreso entre los hogares en el período comprendido entre 2006 y 2017 muestra que el país mantiene una elevada concentración del ingreso autónomo⁹, seguido del

⁷ El IDH evalúa el progreso de los países considerando la salud (esperanza de vida), la educación (media de años de escolaridad y los previstos) y los ingresos (Ingreso nacional bruto per cápita).

⁸ La serie de datos sobre pobreza multidimensional (estimada a través de la nueva metodología de medición) se encuentra disponible para 2009, 2011 y 2013.

⁹ Corresponde a la suma de todos los pagos que reciben todos los miembros del hogar, excluido el servicio doméstico puertas adentro, provenientes tanto del trabajo como de la propiedad de los activos. Estos incluyen sueldos y salarios, monetarios y en especies, ganancias provenientes del trabajo independiente, la autoprovisión de bienes producidos por el hogar, rentas, intereses, dividendos y retiro de utilidades, jubilaciones, pensiones o montepíos, y transferencias corrientes.

ingreso monetario¹⁰, que incluye las transferencias monetarias que realiza el sector público a los hogares de menores ingresos, como parte de los programas sociales.

Como se observa en la donde se presenta la estimación de los índices 20/20, 10/40 y 10/10 y del coeficiente de Gini¹¹, entre 2006 y 2017, los valores del coeficiente de Gini —estimados a partir del ingreso autónomo— han fluctuado entre 0,295 y 0,512 durante los años considerados. Por lo tanto, se tiene que:

- a. El índice 20/20 muestra que el ingreso autónomo promedio de un hogar perteneciente al 20 % de los hogares de mayores ingresos ha sido entre 10,7 y 12,7 veces el ingreso de un hogar perteneciente al 20 % más pobre de los hogares. En 2017 este valor fue igual a 11,9.
- b. El índice 10/40 muestra que el ingreso autónomo promedio de los hogares pertenecientes al 10 % de los hogares de mayores ingresos más que ha duplicado el ingreso de los hogares pertenecientes al 40 % más pobre de los hogares.
- c. El índice 10/10, muestra que el ingreso autónomo promedio de un hogar perteneciente al 10% de los hogares de mayores ingresos ha sido entre 27,2 y 38,8 veces el ingreso de un hogar perteneciente al 10% más pobre de los hogares. En 2017 este valor fue igual a 30,8.

Tabla 3. Indicadores de la distribución del ingreso de los hogares, según tipo de ingreso, para el período 2006-2017

| Tipo de ingreso | Período | | | | | |
|--------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2006 | 2009 | 2011 | 2013 | 2015 | 2017 |
| Ingreso autónomo⁴ | | | | | | |
| Índice 20/20 | 11,7 | 12,7 | 11,7 | 11,5 | 10,7 | 11,9 |
| Índice 10/40 | 2,6 | 2,8 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,5 |
| Índice 10/10 | 27,6 | 38,8 | 29,8 | 29,1 | 27,2 | 30,8 |
| Coeficiente de Gini | 0,505 | 0,512 | 0,504 | 0,504 | 0,495 | 0,502 |
| Ingreso monetario⁵ | | | | | | |
| Índice 20/20 | 10,0 | 9,3 | 9,0 | 8,8 | 8,2 | 8,9 |
| Índice 10/40 | 2,4 | 2,4 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 2,1 |
| Índice 10/10 | 20,1 | 19,8 | 17,7 | 17,1 | 16,0 | 17,0 |
| Coeficiente de Gini | 0,499 | 0,499 | 0,492 | 0,491 | 0,482 | 0,488 |

Nota: Ingresos corregidos por no respuesta.

Fuente: Elaboración propia del MMA con base en Encuesta Casen 2017 (MIDESO, 2018)

1.1.1.5.3. Salud

Uno de los aspectos importantes en relación con la salud de la población en un contexto de cambio climático es la calidad del aire que respiramos. La calidad del aire es el resultado de la interacción de varios factores, entre los cuales se encuentra las emisiones vinculadas al área de la industria y transporte, el uso de determinadas tecnologías, la meteorología, ventilación y el uso de tipos de combustibles, entre otros. La concentración de estos factores produce la contaminación del aire que es uno de los principales temas ambientales que afectan a nuestro planeta y especialmente a

¹⁰ Corresponde a la suma de los ingresos autónomos y los subsidios monetarios percibidos por todos los miembros del hogar, excluido el servicio doméstico puertas adentro.

¹¹ El coeficiente de Gini mide la desigualdad de ingresos dentro de un país, y compara la distribución de los ingresos reales con la distribución perfecta y equitativa.

nuestro país¹², ya que incide directamente en la salud de las personas, animales, vegetación, suelo y además contribuye significativamente al cambio climático (MMA, 2019).

En Chile al 2018, alrededor de 9,7 millones de personas estuvieron expuestas a concentraciones de material particulado fino¹³ (MP_{2,5}), que superan la norma vigente (MMA, 2019). Las principales fuentes de emisiones de MP_{2,5} se deben al uso extensivo de leña para la calefacción de los hogares, principalmente en la zona sur de Chile (MMA, 2020).

1.1.1.6. COVID-19

Estudios recientes demuestran que las personas expuestas a contaminación atmosférica son más propensas a los efectos del SARS-CoV-2, ya que los contaminantes del aire menoscaban la capacidad del organismo de defenderse de infecciones respiratorias. De hecho, se han encontrado coincidencias entre la causa de la muerte en pacientes con COVID-19 y las enfermedades asociadas a una exposición prolongada a MP_{2,5}. La OCDE registra que, en dos de cada tres países miembros, la exposición media de la población a las partículas finas MP_{2,5} supera el límite de 10 µg/m³, donde Chile ocupa el segundo lugar después de Corea (OCDE, 2020).

Según el reporte de 22 de septiembre del 2020 entregado por el Ministerio de Salud, la cifra de contagios en Chile asciende a 448.423. De ese total, 13.026 pacientes se encuentran en etapa activa. Los casos recuperados son 423.176 y el número total de fallecidos en el país es de 12.321 (Ministerio de Salud, 2020).

En este sentido es que el país a través de un acuerdo entre el Ministerio de Hacienda y la Comisión de Hacienda ampliada, integrada por parlamentarios de oposición y oficialismo han puesto en marcha el plan «Paso a Paso, Chile se recupera», que tiene como objetivo levantar de manera segura y gradual al país y ponerlo nuevamente en marcha a través de cuatro ejes: incentivos al empleo, inversión, apoyo a las PYME y agilización y simplificación de permisos.

En el marco de la reactivación económica impulsada en Chile tras la crisis generada por el COVID-19, se ha anunciado un plan de inversión pública de USD 4.500 millones adicional, por sobre el presupuesto regular de los ministerios, que se materializaría en los próximos 24 meses. De esta forma, para el período 2020-2022 se estima un total de USD 34.000 millones en inversión pública, la cual tiene una capacidad de generar un total de 250.000 empleos.

De esta inversión, el 30 % de los proyectos contribuirán a acelerar la transición hacia un desarrollo sustentable, y mitigar y adaptar nuestro país al cambio climático (Gobierno de Chile, 2020). Para esto la cartera de proyectos, en términos generales, está centrada en entregar soluciones a: demandas sociales y productivas, crisis hídrica, apoyo a municipios, movilidad e integración en ciudades, mejoramiento de caminos y construcción de carreteras y puentes.

1.1.1.7. Enfoque de género

¹² El informe Air world quality report de 2019, señala que de las diez urbes sudamericanas con mayor contaminación del aire, ocho son chilenas.

¹³ Indicador representativo común de la contaminación del aire, compuesto por sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua. En Chile se utilizan dos métricas partículas de diámetros menores a 10 micrones conocidas como MP₁₀ y de diámetros menores a 2,5 micrones conocidas como MP_{2,5}.

Para entender la relación entre género y cambio climático en Chile es importante conocer el estado de los avances en cuanto a la situación de las mujeres y la igualdad de género en el país.

De acuerdo con cifras de la encuesta CASEN 2017 (INE, 2018) la pobreza es más elevada en el caso de mujeres que de hombres (9 % y 8,2 % respectivamente) y la extrema pobreza también es mayor en el caso de las mujeres (2,4 % y 2,2 % respectivamente).

La incorporación de las mujeres al mercado laboral ha ido en aumento en los últimos diez años. En 2010 la participación laboral de las mujeres se ubicaba en 45 % y actualmente está sobre el 50 %. Pese a ello, la brecha salarial entre hombres y mujeres persiste, aun cuando ha disminuido. Según mediciones del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), esta se expresaba en -38,2 % en 2010, y actualmente se encuentra en -27,2 %.

1.1.1.8. Perfil económico

Chile posee un modelo económico abierto y estable, que favorece el comercio y la inversión. Desde la perspectiva del origen, para 2019 se observaron incrementos en la mayoría de las actividades, siendo servicios personales y comercio las de mayor contribución al resultado del Producto Interno Bruto (PIB); en tanto, las principales incidencias negativas provinieron de servicios empresariales, construcción y minería. Más detalles del PIB desde el 2013 al 2019 se presentan en la Tabla 4.

Si bien la economía se ha diversificado en años recientes, la actividad minera concentra parte importante de las exportaciones; al 2019 correspondieron al 52,2 % del total exportado por el país. En el caso de las importaciones, la mayor proporción la representan los bienes intermedios, correspondiendo en 2019 al 49,6 % del total de importaciones de bienes (CIF) (Banco Central, 2020).

Tabla 4. PIB por clase de actividad económica, a precios corrientes, referencia 2013 (MM CLP)

| Actividad económica | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Agropecuaria-silvícola | 4.031 | 4.543 | 5.202 | 5.854 | 5.598 | 5.616 | 5.794 |
| Pesca | 631 | 1.295 | 800 | 960 | 1.296 | 1.128 | 1.239 |
| Minería | 15.144 | 16.214 | 13.689 | 13.661 | 18.135 | 18.511 | 18.613 |
| Minería del cobre | 13.466 | 14.743 | 12.494 | 12.042 | 16.220 | 16.627 | 16.710 |
| Otras actividades mineras | 1.677 | 1.471 | 1.195 | 1.619 | 1.915 | 1.884 | 1.903 |
| Industria manufacturera | 15.326 | 16.547 | 18.455 | 18.316 | 18.372 | 20.137 | 19.931 |
| Alimentos | 3.993 | 4.421 | 4.902 | 5.245 | 5.534 | 5.964 | 6.120 |
| Bebidas y tabaco | 2.039 | 2.166 | 2.768 | 2.542 | 2.594 | 2.738 | 2.767 |
| Textil, prendas de vestir, cuero y calzado | 377 | 362 | 342 | 350 | 306 | 334 | 283 |
| Maderas y muebles | 792 | 1.041 | 1.145 | 1.113 | 1.062 | 1.146 | 1.093 |
| Celulosa, papel e imprentas | 1.214 | 1.461 | 1.685 | 1.552 | 1.703 | 2.317 | 1.801 |
| Refinación de petróleo | 1.153 | 1.464 | 1.729 | 1.691 | 1.612 | 1.546 | 1.447 |
| Química, caucho y plástico | 2.202 | 2.227 | 2.328 | 2.141 | 1.951 | 2.173 | 2.286 |
| Minerales no metálicos y metálica básica | 897 | 855 | 840 | 825 | 684 | 868 | 865 |
| Productos metálicos, maquinaria y equipos y otros | 2.658 | 2.552 | 2.716 | 2.858 | 2.926 | 3.052 | 3.268 |
| Electricidad, gas, agua y gestión de desechos | 3.544 | 3.673 | 4.719 | 5.479 | 5.633 | 5.531 | 5.991 |
| Construcción | 8.995 | 9.413 | 10.498 | 11.511 | 11.713 | 12.531 | 13.668 |
| Comercio | 12.516 | 13.777 | 14.730 | 15.993 | 16.497 | 18.110 | 17.929 |
| Restaurantes y hoteles | 2.552 | 2.832 | 3.219 | 3.546 | 3.825 | 4.248 | 4.481 |
| Transporte | 6.500 | 6.974 | 8.586 | 9.074 | 9.152 | 9.014 | 9.928 |
| Comunicaciones y servicios de información | 4.309 | 4.424 | 4.612 | 4.751 | 4.747 | 4.300 | 4.145 |
| Servicios financieros | 6.898 | 6.961 | 7.495 | 7.719 | 8.129 | 8.909 | 9.521 |
| Servicios empresariales | 14.728 | 15.542 | 16.535 | 16.992 | 17.406 | 18.770 | 19.985 |
| Servicios de vivienda e inmobiliarios | 9.805 | 10.710 | 12.024 | 13.240 | 14.025 | 15.609 | 16.554 |
| Servicios personales | 15.022 | 16.194 | 17.674 | 19.612 | 21.322 | 22.998 | 24.541 |
| Administración pública | 6.188 | 6.837 | 7.498 | 8.137 | 8.433 | 9.129 | 9.423 |

| Actividad económica | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| PIB a costo de factores | 126.187 | 135.938 | 145.737 | 154.846 | 164.281 | 174.540 | 181.744 |
| Impuesto al valor agregado | 11.041 | 11.967 | 13.120 | 13.722 | 14.705 | 15.836 | 15.962 |
| Derechos de importación | 648 | 718 | 749 | 696 | 791 | 889 | 734 |
| Total Producto Interno Bruto | 137.876 | 148.624 | 159.606 | 169.264 | 179.776 | 191.266 | 198.441 |

Fuente: Elaboración propia del MMA con base en las Cuentas Nacionales (Banco Central de Chile, 2020)

1.1.1.9. Indicadores generales

A manera de síntesis, la Tabla 5 presenta el resumen de algunos de los principales indicadores clave para Chile obtenidos de la información presentada en el 4IBA.

Tabla 5. Indicadores claves para Chile

| Información | Fuente |
|--|--------------|
| Superficie | |
| Superficie total (km ²) | 2.006.096 |
| Superficie sudamericana (km ²) | 755.915 |
| Superficie en Oceanía (Isla de Pascua) (km ²) | 181 |
| Usos de la tierra | |
| Tierras forestales (%) | 25,7 |
| Tierras de cultivo (%) | 4,2 |
| Pastizales (%) | 28,3 |
| Humedales (%) | 6,3 |
| Asentamientos (%) | 0,7 |
| Otras tierras (%) | 35,1 |
| Áreas marinas protegidas (mil ha) | 147.186 |
| Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (SNASPE) (mil ha) | 18.090 |
| Población | |
| Población 2002 (personas) | 15.116.435 |
| Población 2017 (personas) | 17.574.003 |
| Hombres 2017 (%) | 48,9 |
| Mujeres 2017 (%) | 51,1 |
| Población rural 2017 (%) | 12,5 |
| Población indígena 2017 (personas) | 2.185.792 |
| Población migrante 2017 (personas) | 746.465 |
| Desarrollo social | |
| Esperanza de vida 2017 (años) | 79,3 |
| Mortalidad infantil 2015 (por cada mil nacidos vivos) | 6,9 |
| Tasa de alfabetización 2017 (%) | 96,4 |
| Población urbana conectada a alcantarillado 2019 (%) | 97,2 |
| Población urbana con suministro de agua potable 2019 (%) | 99,9 |
| Aguas servidas tratadas en plantas de tratamiento 2019 (%) | 99,98 |
| Índice de desarrollo humano 2017 | 0,843 |
| Población en pobreza extrema 2017 (%) | 2,3 |
| Población en pobreza 2017 (%) | 6,3 |
| Índice entre 10 % más rico y 10 % más pobre 2017 | 30,8 |
| Coefficiente de Gini autónomo 2017 | 0,502 |
| Actividad económica | |
| PIB 2019 (millones USD) | 282.318 |
| PIB per cápita 2019 (USD) | 24.225 |
| Crecimiento del PIB al 2020 estimado (% anual) | -4,3 / - 6,0 |
| Exportación de materias primas 2019 (% exportaciones totales 2019) | 28,2 |
| Exportación de bienes y servicios 2019(% PIB) | 28,2 |
| Balanza comercial 2019 (millones USD FOB) | 89 |
| Exportaciones mineras 2019 (millones USD FOB) | 36.461 |
| Exportaciones silvoagropecuarias 2019 (millones USD FOB) | 6.704 |
| Exportaciones industriales 2019 (millones USD FOB) | 26.723 |

Fuente: Elaboración propia del MMA con base en el 4IBA (<https://unfccc.int/documents/267936>).

¹⁴ Respecto de la superficie sudamericana y en Oceanía. Información provista por CONAF para INGEI 2018.

1.1.2. Cambio climático

Fueron los científicos quienes llamaron la atención internacional sobre las amenazas planteadas por el efecto invernadero. La historia del descubrimiento científico del cambio climático comenzó a principios del siglo XIX cuando se sospechó por primera vez que hubo cambios naturales en el paleoclima y se identificó por primera vez el efecto invernadero natural. En los decenios de 1950-60, 1960-70 y 1970-80 se recogieron datos que demostraron que las concentraciones de CO₂ en la atmósfera estaban aumentando muy rápidamente.

En 1988 se creó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En 1990 este grupo presentó un *Primer Informe de Evaluación* en el que se reflejaban las investigaciones de 400 científicos. En él se afirmaba que el calentamiento atmosférico de la Tierra era real y se pedía a la comunidad internacional que tomara cartas en el asunto para evitarlo.

En 2014, el IPCC concluye y afirma, en su *Quinto Informe de Evaluación*¹⁵, que las emisiones antropógenas de GEI han aumentado desde la era preindustrial, en gran medida como resultado del crecimiento económico y demográfico, y actualmente son mayores que nunca. Como consecuencia, se han alcanzado unas concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso sin parangón en por lo menos los últimos 800.000 años. Los efectos de las emisiones, así como de otros factores antropógenos, se han detectado en todo el sistema climático y es *sumamente probable* que hayan sido la causa dominante del calentamiento observado a partir de la segunda mitad del siglo XX.

1.1.2.1. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

Las conclusiones del IPCC alentaron a los gobiernos a aprobar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC); la cual entró en vigor el 21 de marzo de 1994, ratificada por Chile el mismo año.

La CMNUCC define al cambio climático como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. En respuesta a esta definición, la CMNUCC se plantea con el objetivo último de lograr la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

Para lograr dicho objetivo, todos los países miembros de la CMNUCC deben elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar inventarios nacionales de sus GEI a dicha Convención (párrafo 1(a); artículo 4).

1.1.2.2. Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

¹⁵ Disponible en <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

Los inventarios nacionales de GEI consisten en un listado numérico exhaustivo de la contabilización de cada uno de los GEI antropógenos liberados o absorbidos desde la atmósfera en un área y en un período específico, generalmente correspondiente a un año calendario¹⁶.

Los inventarios tienen por objetivo determinar la magnitud de las emisiones y absorciones de GEI nacionales que son atribuibles directamente a la actividad humana, así como la contribución específica del país al fenómeno del cambio climático.

Además, según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (PNUD, 2005), la preparación y presentación de los inventarios pueden proporcionar una serie de otros beneficios para un país, entre ellos:

- Identificar los sectores económicos que más contribuyen al cambio climático y sus aportes específicos;
- Proporcionar información útil para la planificación y evaluación del desarrollo económico;
- Proporcionar información útil para abordar otros problemas ambientales (por ejemplo, la calidad del aire, el uso de la tierra o la gestión de residuos);
- Identificar brechas en las estadísticas nacionales;
- Evaluar opciones de mitigación de GEI, colaborando en las orientaciones para una estrategia de desarrollo bajas en emisiones y, por consiguiente, hacia un uso más eficiente de los recursos naturales y financieros; y
- Proporcionar la base para esquemas de comercio de emisiones.

Los GEI incluidos en los inventarios de los países en desarrollo, como Chile, suelen ser el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆).

1.1.2.3. Reporte y presentación de los inventarios ante las Naciones Unidas

Con la finalidad de informar de los avances en la implementación de los objetivos de la CMNUCC, en la COP16 de 2010 se definió que «*los países en desarrollo deberán presentar a la Convención informes bienales de actualización, que contengan información actualizada sobre los inventarios*»¹⁷. Además, en la COP17 de 2011 se agregó que «*los países en desarrollo deberían presentar su primer informe bienal de actualización a más tardar en diciembre de 2014 [...] abarcando, como mínimo, un año civil anterior en no más de cuatro años a la fecha de presentación*»¹⁸.

Los reportes clave para presentar los inventarios ante las Naciones Unidas son las comunicaciones nacionales y, a partir de 2014, los informes bienales de actualización (IBA), que deben ser presentados cada dos años y cuyo principal contenido es el inventario nacional de GEI.

¹⁶ Recuperado y traducido de: [UNFCCC \(2009\) UNFCCC Resource Guide for Preparing the National Communication of Non-Annex I Parties. Module 3 National Greenhouse Gas Inventory](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2010/cop16/spa/07a01s.pdf)

¹⁷ Decisión 1, párrafo 60(c) del Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 16º período de sesiones, celebrado en Cancún del 29 de noviembre al 10 de diciembre de 2010. Disponible en <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2010/cop16/spa/07a01s.pdf>

¹⁸ Decisión 1, párrafo 41(a) del Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 17º período de sesiones, celebrado en Durban del 28 de noviembre al 11 de diciembre de 2011. Disponible en <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2011/cop17/spa/09a01s.pdf>

El primer INGEI oficial de Chile, elaborado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), fue presentado en 2000 ante las Naciones Unidas como parte de la *Primera Comunicación Nacional de Chile*¹⁹ con información de las emisiones de GEI de 1993 y 1994.

El segundo INGEI oficial, elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), fue presentado en 2011 ante las Naciones Unidas como parte de la *Segunda Comunicación Nacional de Chile*²⁰, abarcando la serie 1984-2006.

El tercer INGEI oficial, elaborado por el MMA, fue presentado en 2014 ante las Naciones Unidas como parte del *Primer Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático*²¹. Adicionalmente, el país presentó su primer *Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010*²² (IIN 2014). Este inventario tiene la característica de ser el primero elaborado en el marco del trabajo colaborativo del Sistema Nacional de Inventarios de GEI de Chile²³ (SNICHILE).

El cuarto INGEI oficial, elaborado por el MMA en el marco del SNICHILE, fue presentado en 2016 ante las Naciones Unidas como parte del *Segundo Informe Bienal de Chile sobre Cambio Climático*²⁴ y la *Tercera Comunicación Nacional*²⁵. En línea con los esfuerzos anteriores, el país elaboró su segundo *Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2013*²⁶ (IIN 2016).

El quinto INGEI oficial, elaborado por el MMA en el marco del SNICHILE, fue presentado en 2018 ante las Naciones Unidas como parte del *Tercer Informe Bienal de Chile sobre Cambio Climático*²⁷. En línea con los esfuerzos anteriores, el país elaboró el tercer *Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2016*²⁸ (IIN 2018).

El presente informe corresponde al cuarto *Informe del Inventario Nacional de Chile: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y Otros Contaminantes Climáticos 1990-2018* (IIN 2020). Es parte del *Cuarto Informe Bienal de Chile sobre Cambio Climático*²⁹ y en línea con los compromisos de mitigación del país en la NDC actualizada³⁰ se incluye las emisiones de carbono negro.

1.2. Arreglos institucionales para la elaboración del INGEI de Chile

En respuesta ante los compromisos adquiridos por el país en materia de reporte y presentación de sus inventarios ante las Naciones Unidas es que la Oficina de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente de Chile diseñó, implementó y ha mantenido, desde 2012, el **Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero de Chile** (SNICHILE), como el marco de colaboración inter e intrainstitucional que contiene las normas de funcionamiento y asignación de funciones y

¹⁹ La *Primera Comunicación Nacional de Chile* se encuentra disponible en <https://unfccc.int/documents/71491> a

²⁰ La *Segunda Comunicación Nacional de Chile* se encuentra disponible en <https://unfccc.int/documents/71492>

²¹ El *Primer Informe Bienal de Actualización de Chile* se encuentra disponible en <https://unfccc.int/documents/180613>

²² El IIN 1990-2010 se encuentra disponible en <https://unfccc.int/documents/180614>

²³ Más información del SNICHILE en <https://snichile.mma.gob.cl/>

²⁴ El *Segundo Informe Bienal de Actualización de Chile* se encuentra disponible en <https://unfccc.int/documents/180615>

²⁵ La *Tercera Comunicación Nacional de Chile* se encuentra disponible en <https://unfccc.int/documents/71493>

²⁶ El IIN 1990-2013 se encuentra disponible en <https://unfccc.int/documents/180616>

²⁷ El *Tercer Informe Bienal de Actualización de Chile* se encuentra disponible en <https://unfccc.int/documents/185268>

²⁸ El IIN 1990-2016 se encuentra disponible en <https://unfccc.int/documents/193971>

²⁹ El *Cuarto Informe Bienal de Actualización de Chile* se encuentra disponible en <https://unfccc.int/documents/267936>

³⁰ https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/NDC_Chile_2020_espan%CC%83ol-1.pdf

responsabilidades para la elaboración y actualización del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y otros contaminantes climáticos de vida corta.

La implementación y mantención del SNICHILE tiene por objetivos:

- Garantizar la sostenibilidad de la preparación de los inventarios en el país;
- Mantener la coherencia de los flujos de GEI notificados; y
- Mantener la calidad de los resultados en línea con los requisitos internacionales.

El trabajo permanente del SNICHILE está dividido en cinco líneas de acción que cubren las áreas y actividades requeridas para el cumplimiento de los objetivos. Estas líneas de acción son:

- Operación del SNICHILE
- Actualización del INGEI de Chile
- Sistema de garantía y control de la calidad
- Creación y mantención de capacidades
- Archivo y difusión

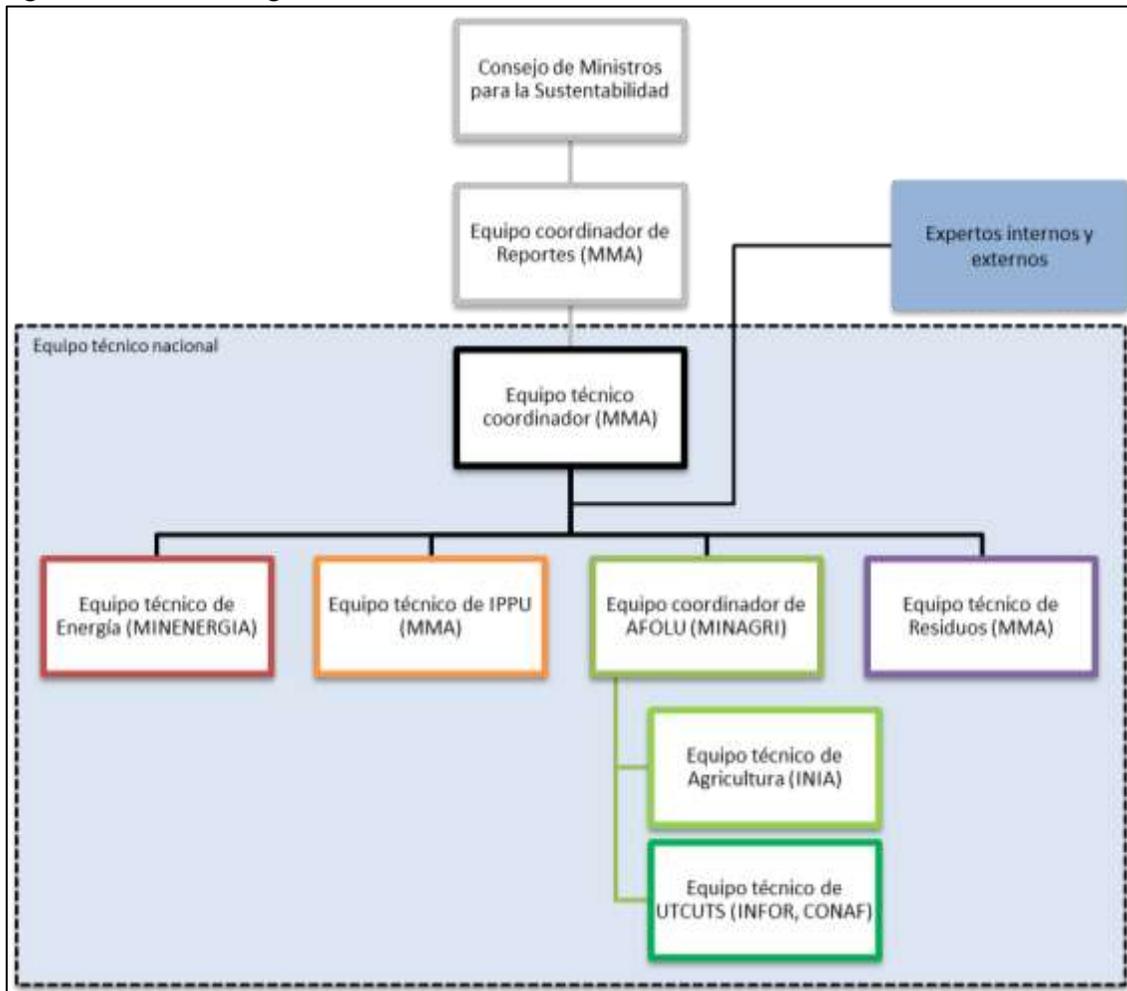
Las líneas de acción son descritas en detalle a continuación.

1.2.1. Operación del SNICHILE

Línea de acción enfocada en la gestión permanente del SNICHILE mediante la mantención de una estructura orgánica con roles y responsabilidades definidas.

El SNICHILE posee una estructura organizacional internalizada en el aparato estatal e independiente de otros registros de contaminantes, coordinada por el MMA. El INGEI de Chile es el resultado del esfuerzo colectivo y permanente de los Ministerios de Agricultura (MINAGRI), Energía (MINENERGÍA) y Medio Ambiente (MMA), que han trabajado coordinadamente en el marco del SNICHILE. Este esfuerzo transversal ha robustecido la elaboración del INGEI de Chile al sumar el saber experto de los diferentes ministerios sectoriales participantes. El SNICHILE está compuesto por el Equipo Técnico Nacional (Equipo Técnico Coordinador, Equipo coordinador AFOLU y Equipos Técnicos Sectoriales), el Equipo Coordinador de Reportes, el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, y Expertos Internos y Externos (Figura 2).

Figura 2. Estructura organizacional del SNICHILE



MMA = Ministerio del Medio Ambiente; MINENERGÍA = Ministerio de Energía; MINAGRI = Ministerio de Agricultura; INIA= Instituto de Investigaciones Agropecuarias; INFOR= Instituto Forestal; CONAF= Corporación Nacional Forestal

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

1.2.1.1. Equipo Técnico Nacional

Este equipo está conformado por el Equipo Técnico Coordinador (ET-Coordinador), el Equipo coordinador AFOLU y los Equipos Técnicos Sectoriales (ET-Sectorial) los cuales tienen por responsabilidad la elaboración misma del INGEI de Chile, incluyendo todas las decisiones metodológicas y de elaboración de los reportes.

1.2.1.1.1. Equipo Técnico Coordinador

El ET-Coordinador cumple la función de entidad nacional única y se encuentra establecido en el Área de Mitigación e Inventarios de Contaminantes Climáticos de la Oficina del Cambio Climático del MMA de Chile.

Este equipo ha asumido el liderazgo de la preparación de los INGEI de Chile mediante las atribuciones que legalmente le asigna al MMA la Ley Nº 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente; en la cual se señala que corresponderá especialmente a este ministerio «Proponer

políticas y formular los planes, programas y planes de acción en materia de cambio climático. En ejercicio de esta competencia deberá colaborar con los diferentes órganos de la Administración del Estado a nivel nacional, regional y local con el objeto de poder determinar sus efectos, así como el establecimiento de las medidas necesarias de adaptación y mitigación» (artículo 70, letra h). Adicionalmente, el ET-Coordinador es el encargado de preparar y reportar las emisiones de carbono negro.

En la práctica, los roles y responsabilidades del ET-Coordinador del SNICHILE son:

- a) Ejecutar el trabajo del SNICHILE y coordinar a los ET-Sectoriales;
- b) Coordinar y desarrollar reuniones de trabajo semestrales del SNICHILE;
- c) Establecer un plan de trabajo permanente, a nivel nacional, del SNICHILE para la elaboración del INGEI de Chile;
- d) Elaborar y actualizar el manual de procedimiento nacional para la elaboración bienal del INGEI de Chile, con base en los insumos de los ET-Sectoriales;
- e) Coordinar el Sistema de Garantía y Control de la Calidad (SGCC) y colaborar con los ET-Sectoriales en la implementación de sus propios controles de calidad;
- f) Compilar los inventarios sectoriales de gases de efecto invernadero (ISGEI) de Energía; IPPU; Agricultura; UTCUTS; y Residuos;
- g) Desarrollar los temas transversales del INGEI de Chile, como la incertidumbre, análisis de categorías claves, y evaluación de la exhaustividad, entre otros;
- h) Elaborar el *Informe del Inventario Nacional de Chile* (IIN);
- i) Colaborar con los ET-Sectoriales en el fomento, la creación y la mantención de sus capacidades técnicas para la elaboración de sus ISGEI;
- j) Colaborar con los ET-Sectoriales en el mejoramiento continuo de sus ISGEI;
- k) Desarrollar, administrar y coordinar la difusión pública de los resultados del INGEI de Chile y las actividades del SNICHILE; y
- l) Documentar y archivar las actividades y resultados del trabajo realizado en el marco del SNICHILE.

1.2.1.1.2. Equipo Coordinador de AFOLU

Este equipo, establecido en la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del Ministerio de Agricultura, se creó en el 2017 junto con la decisión de preparar y reportar los sectores de Agricultura y UTCUTS por separado. Su función es coordinar la comunicación entre ambos Equipos Técnicos Sectoriales para que exista coherencia metodológica como en los supuestos y datos empleados en el desarrollo de sus inventarios y en las definiciones transversales a estos sectores.

1.2.1.1.3. Equipos Técnicos Sectoriales

Los ET-Sectoriales son los encargados de desarrollar y elaboran sus respectivos ISGEI. Han sido seleccionados por el MMA (en su rol de entidad nacional única) tomando como base su competencia legal en los respectivos sectores y el acceso que estos poseen a la información necesaria para la elaboración del INGEI de Chile, con el fin de facilitar los procesos de levantamiento de datos. Es así como los equipos técnicos están establecidos de la siguiente forma:

- **Equipo Técnico de Energía:** está encargado de la elaboración del ISGEI de Energía, se encuentra establecido en la División de Prospectiva y Análisis de Impacto Regulatorio del Ministerio de Energía (MINENERGÍA).
- **Equipo Técnico de IPPU:** está encargado de la elaboración del ISGEI de IPPU, se encuentra establecido en el Área de Mitigación e Inventarios de Contaminantes Climáticos de la Oficina de Cambio Climático del MMA.
- **Equipos Técnico de Agricultura:** está encargado de la elaboración del ISGEI de Agricultura, se encuentra establecido en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- **Equipos Técnico de UTCUTS:** está encargado de la elaboración del ISGEI de UTCUTS, se encuentra establecido en el Instituto Forestal (INFOR) como líder sectorial y en la Corporación Nacional Forestal (CONAF).
- **Equipo Técnico de Residuos:** está encargado de la elaboración del ISGEI de Residuos, se encuentra establecido en la Oficina de Residuos y Riesgo Ambiental y en el Área de Mitigación e Inventarios de Contaminantes Climáticos de la Oficina de Cambio Climático, ambos pertenecientes al MMA.

A la fecha solo existe un acuerdo de trabajo entre el MINENERGÍA y MMA que identifica las responsabilidades de cada uno en materia de cambio climático, así como especifica el rol líder del MINENERGÍA en la elaboración del inventario de ese sector. De momento no existen acuerdos vinculantes de trabajo entre las instituciones participantes del sector AFOLU, por lo que todo el trabajo realizado desde 2012 se ha desarrollado en el marco de un trabajo cooperativo y voluntario. Pese a lo anterior, los roles y responsabilidades implícitas de estas instituciones gubernamentales son los siguientes:

- a) Establecer y mantener un equipo técnico encargado del ISGEI respectivo, lo que incluye nominar formalmente un responsable y punto de contacto para participar de las reuniones semestrales del SNICHILE y de otras actividades cooperativas según sea necesario. En caso de impedimento de este último, designar un reemplazante;
- b) Establecer un plan de trabajo sectorial para la elaboración del ISGEI respectivo, de acuerdo con el plan de trabajo del SNICHILE;
- c) Elaborar y actualizar un manual de procedimiento sectorial para la elaboración del ISGEI respectivo;
- d) Elaborar el ISGEI respectivo, de acuerdo con su propio plan de trabajo sectorial y manual de procedimiento sectorial, y en coordinación con el plan de trabajo del INGEI de Chile;
- e) Desarrollar los temas transversales del ISGEI respectivo;
- f) Crear y mantener capacidades técnicas para la elaboración del ISGEI respectivo;
- g) Ejecutar acciones para el mejoramiento continuo del ISGEI respectivo; y
- h) Poner a disposición del coordinador del SNICHILE el informe del ISGEI respectivo, así como toda la información pertinente, en los plazos señalados por el plan de trabajo del SNICHILE.

Es importante señalar que, si bien no existen acuerdos vinculantes entre todas las instituciones participantes del SNICHILE, muchas de ellas han incluido dentro de sus propias funciones (ya sea dentro del plan de trabajo anual o perfiles de cargo de sus profesionales) la elaboración del ISGEI

respectivo. Esto demuestra una voluntad proactiva en la materia, lo que en sí ha sostenido el trabajo del SNICHILE durante estos años.

Para la coordinación general del SNICHILE, el ET-Coordinador ha desarrollado reuniones semestrales con el ET-Nacional desde 2013. Además, periódicamente se desarrollan reuniones bilaterales con los ET-Sectoriales para abordar temas técnicos específicos de cada uno de los sectores.

1.2.1.2. Equipo Coordinador de Reportes

El Equipo Coordinador de Reportes (ECR), establecido en la Oficina de Cambio Climático del MMA, se crea en respuesta a los requerimientos de presentación de los reportes por parte del Chile ante la CMNUCC. Tiene por objetivo la coordinación de la elaboración y presentación de dichos reportes, principalmente las comunicaciones nacionales y los IBA de Chile, para dar cumplimiento a los plazos comprometidos por el país ante las Naciones Unidas.

En el contexto del INGEI de Chile, el ECR interactúa y colabora con el SNICHILE en los siguientes aspectos:

- Coordina una hoja de ruta y un plan de trabajo en común para ajustar los plazos de elaboración, revisión y entrega del INGEI de Chile para que sea parte de las comunicaciones nacionales o de los IBA respectivos.
- Asegura que los productos entregados por el SNICHILE cumplan las *Directrices para la preparación de las comunicaciones nacionales de las Partes no incluidas en el anexo I de la Convención*³¹ y las *Directrices de la Convención Marco para la presentación de los informes bienales de actualización de las Partes no incluidas en el anexo I de la Convención*³².
- Coordina la revisión del INGEI de Chile (dentro de las comunicaciones nacionales o IBA) por parte de los puntos focales de cambio climático en los diferentes organismos nacionales con competencia ambiental.
- Coordina la participación de los profesionales involucrados en el ET-Nacional de SNICHILE en el proceso de Análisis y Consulta Internacional (ICA) de los IBA de Chile.

La interacción del SNICHILE con el ECR es crucial, ya que colabora en el incremento de la calidad del INGEI de Chile y en su puntual presentación ante la CMNUCC.

1.2.1.3. Consejo de Ministros para la Sustentabilidad

En su artículo 71 de la Ley N° 20.417 que creó el Ministerio del Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente, también creó el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, presidido por el MMA e integrado por sus pares de Agricultura; Hacienda, Salud, Economía, Fomento y Turismo, Energía, Obras Públicas, Vivienda y Urbanismo, Transportes y Telecomunicaciones, Minería, y de Desarrollo Social. Su objetivo principal es impulsar políticas y regulaciones con eje en la sustentabilidad.

³¹ Las Directrices para las comunicaciones nacionales se encuentran disponibles en <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/spanish/cop8/cp807a02s.pdf#page=4>

³² Las Directrices para los IBA se encuentran disponibles en <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2011/cop17/spa/09a01s.pdf#page=43>

En el contexto del SNICHILE, el Consejo es la entidad de más alto nivel que revisa y aprueba los reportes de Chile (comunicaciones nacionales e IBA), que serán enviados a la Secretaría de la CMNUCC. El Consejo no participa en la elaboración misma del INGEI o de los reportes.

1.2.1.4. Expertos internos y externos

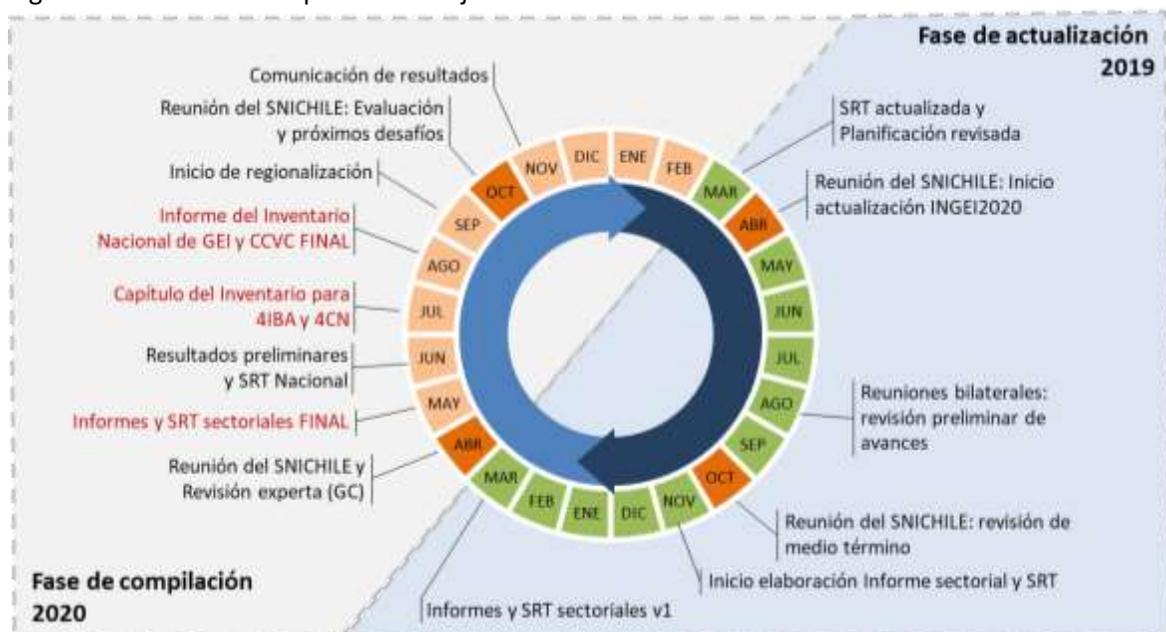
Estos expertos internos (puntos focales ministeriales) y externos (suelen ser expertos internacionales contratados por el SNICHILE según su propio requerimiento) colaboran aportando con sus experticias pertinente para la revisión y garantía de la calidad de los INGEI de Chile, aunque no participan directamente en los ET-Sectoriales y su aporte tampoco es permanente o estable.

La coordinación del SNICHILE evalúa periódicamente a aquellos expertos que podrían colaborar con el SNICHILE, la participación de estos expertos está determinada principalmente por los requerimientos que los ET-Sectoriales soliciten a la Entidad Coordinadora, por lo que sus experticias pueden variar considerablemente y no estar ligado directamente a la elaboración del INGEI de Chile. Por ejemplo, se ha gestionado el apoyo de expertos estadísticos para la superación de la brecha de información en la serie de residuos sólidos municipales; se ha gestionado apoyo de expertos en el mercado forestal para consensuar juicios de expertos en los porcentajes de residuos de cosecha *in situ*, etc.

1.2.2. Actualización del INGEI de Chile

Esta línea de acción se enfoca en la actualización del INGEI de Chile mediante la implementación y mantención de un plan de trabajo que consistente en un ciclo bienal de actividades, y en plazos y presupuestos que guían el trabajo permanente del ET-Nacional. En la Figura 3 se observa el plan de trabajo de acuerdo con los hitos que ocurrieron durante las fases de actualización y compilación de 2019 y 2020.

Figura 3. Ciclo bienal del plan de trabajo del SNICHILE



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

El plan de trabajo fue elaborado mediante un proceso en donde el ET-Coordinador propone a los ET-Sectoriales una serie de actividades, plazos y productos. Posteriormente, se discute esta propuesta de plan de trabajo, sus actividades, plazos productos y la disponibilidad de financiamientos. Una vez aprobado, el ET-Coordinador se encarga de hacer seguimiento de este, para lo que es necesario realizar dos Reuniones del SNICHILE al año.

En general, en el primer año del ciclo se actualizan los ISGEI de cada sector (fase de actualización), mientras que en el segundo año se compilan y desarrollan los temas transversales del INGEI de Chile y se elabora el IIN de Chile (fase de compilación).

Es importante mencionar que el plan de trabajo del SNICHILE es flexible y se adapta a las circunstancias y contingencias que puedan presentarse en todos los niveles. Puntualmente, durante este ciclo, la planificación inicial se tuvo que aplazar debido a la contingencia del COVID-19 que retraso las últimas etapas del proceso de compilación.

1.2.3. Sistema de garantía y control de calidad

Línea de acción enfocada en la mantención y mejoramiento de la calidad del INGEI de Chile (transparencia, exhaustividad, coherencia, comparabilidad y exactitud) mediante el establecimiento y la implementación de procedimientos de control de la calidad, de garantía de la calidad, y de verificación. Además, para identificar y priorizar las potenciales mejoras del INGEI de Chile se elabora un plan de mejoramiento continuo (PMC).

Desde 2015, el SNICHILE implementó un Sistema de garantía y control de la calidad (SGCC) acorde con las buenas prácticas del IPCC para la elaboración de los inventarios. La responsabilidad general del SGCC recae en el ET-Coordinador; tanto en la implementación de controles de calidad al INGEI final, como la coordinación del proceso de garantía de la calidad de todos los ISGEI. Los ET-Sectoriales tienen la responsabilidad de aplicar procedimientos de control de la calidad a sus ISGEI respectivos.

Todas las actividades y procedimientos del SGCC son listadas para que los profesionales elaboradores de los inventarios de GEI puedan catalogarlas como «implementadas» o «no implementadas», y además puedan agregar comentarios para que otros profesionales hagan un debido seguimiento. Un resumen de las listas de control de la calidad se encuentra en el ANEXO 11.01.

Lo esperado por el SNICHILE es contar con la mayor cantidad posible de profesionales permanentes y competentes que constituyan equipos técnicos estables que garanticen la sostenibilidad del sistema y la calidad de las estimaciones de GEI. Además, se espera contar con la mayor cantidad de factores de emisión país específico para reflejar de forma más exacta la realidad nacional en cuanto a sus emisiones y absorciones de GEI, particularmente en las categorías principales identificadas.

1.2.3.1. Control de la calidad

Se documenta y registra un conjunto de actividades y procedimientos técnicos rutinarios destinados a evaluar y mantener la calidad del INGEI a medida que los ET-Sectoriales elaboran sus ISGEI y que el ET-Coordinador compila y elabora el INGEI de Chile.

Las actividades y procedimientos rutinarios para el control de la calidad están listados en archivos que permite realizar una lista de chequeo del estado de su implementación, las cuales están divididas en listas específicas para el ET-Coordinador y listas específicas para los ET-Sectoriales.

1.2.3.2. Garantía de la calidad

Se documenta y registra los comentarios, sugerencias, recomendaciones y observaciones resultantes de las revisiones de profesionales externos independientes, que no participan directamente en el ET-Nacional. Estas revisiones de terceros son de los ISGEI y el INGEI terminados.

Durante el presente proceso de actualización del INGEI, en mayo de 2019, el INGEI 3IBA pasó por 2 procesos de revisión externa, uno a través de la Red Latinoamericana de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (RedINGEI) en terreno y otro a distancia por el equipo de expertos técnicos en el marco del proceso de Consulta y análisis internacional (ICA).

1.2.3.3. Verificación

Se documenta y registra un conjunto de actividades de comparación entre las estimaciones de los GEI del ET-Nacional y aquellas elaboradas por organismos externos. Se comparan las estimaciones de GEI, datos de actividad estadísticos y paramétricos, y los factores de emisión. Cada ET-Sectorial aplica sus propias fuentes de comparación usando los criterios de las *Directrices del IPCC de 2006*. Algunos ejemplos son la aplicación del *Método de referencia* con el *Método sectorial* en el sector *Energía*; y la comparación de las estimaciones de GEI de la Agencia Internacional de Energía (AIE) con las estimaciones propias del ET-Energía.

El detalle de cada procedimiento de verificación se detalla en cada sección respectiva a subcategoría durante el documento.

1.2.3.4. Plan de mejoramiento continuo

El SNICHILE reporta un Plan de mejora continua (PMC) en sus IIN, sin embargo, para responder mejor a las necesidades de implementación de las mejoras, se desarrolló una reestructuración de este plan.

El nuevo PMC además de agrupar las acciones reportadas por los Equipos Técnicos Sectoriales dentro de la sección correspondiente en el IIN, se agregan, en caso de que aún no se estén considerando:

- Acciones para abordar comentarios de las revisiones externas que estén en estado «Parcial» o «No implementadas»;
- Acciones para mejorar la exhaustividad asociadas a las fuentes reportadas como no estimadas (NE); y
- Acciones asociadas a categorías principales estimadas con el método de Nivel 1.

El detalle se puede observar en el Anexo 13.

Los objetivos de este nuevo PMC son: (1) facilitar la organización, gestión, priorización de los recursos, (2) hacer seguimiento y facilitar la implementación de las acciones de mejora; (3) dar a

conocer las necesidades del SNICHILE, tanto con otras instituciones que participan de forma indirecta —como proveedores de datos—, como con potenciales fuentes de financiamiento, y (4) responder de manera efectiva a los comentarios de las revisiones externas, mostrando los avances y asociando comentarios pendientes con acciones del PMC para superar brechas. Para cumplir de mejor manera este último objetivo, se agrega, como anexo, una tabla con el estado de los comentarios de revisiones externas por las que ha pasado el INGEI de Chile. De esta forma se muestran las mejoras implementadas y en caso de estar Parcial o No Implementada se asocia a una acción del PMC (Anexo 11.02). Las revisiones incluidas en el Anexo se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6. Revisiones externas por las que ha pasado el INGEI de Chile como parte del proceso de garantía de la calidad

| ID | Sectores | Nombre | Modalidad | Fecha de revisión |
|------|-------------|---|-------------|-------------------|
| Rev1 | Nacional | Agencia Federal de Medio Ambiente de Alemania | A distancia | oct-14 |
| Rev2 | Nacional | ICA-TTE del 1IBA de Chile | A distancia | may-15 |
| Rev3 | Energía | Darío Gómez | A distancia | jun-14 |
| Rev3 | Agricultura | Miguel Ángel Taboada | En terreno | abril-14 |
| Rev3 | LULUCF | Walter OYHANTCABAL | En terreno | abril-14 |
| Rev3 | Residuos | Eduardo CALVO | A distancia | jun-14 |
| Rev4 | Nacional | Agencia Federal de Medio Ambiente de Alemania | En terreno | abr-17 |
| Rev5 | Nacional | ICA-TTE del 3IBA de Chile | A distancia | may-19 |
| Rev6 | Nacional | Revisión por pares en el marco de la RedINGEI | En terreno | may-19 |

Fuente: Equipo Coordinador del SNICHILE

El PMC del SNICHILE se resume en el Anexo 13 y para el reporte de cada acción se consideran los siguientes atributos:

- Clasificación según categoría del INGEI y GEI asociados: es importante para acotar la acción, y ayuda a priorizar al poder definir si es categoría principal. Las mejoras generales no se asocian a ninguna categoría en particular.
- Nombre y descripción: determinado por cada líder sectorial. La descripción no tiene una estructura predefinida ya que depende de cada acción.
- Origen: especifica si la medida proviene de una mejora levantada por el equipo de inventario (interna), si responde a un comentario de revisión externa (Rev.XX), si es para mejorar exhaustividad (NE o IE) o una categoría principal estimada con un método de Nivel 1 (CP Nivel 1).
- Estado:
 - Sugerida: potencial acción que debe ser aprobada por organismos pertinentes, por lo que aún no está comprometida.
 - Propuesta: está aprobada pero aún no tiene recursos asignados para su implementación.
 - Planeada: está comprometida y tiene recursos asignados, pero aún no comienza su implementación.
 - En progreso: ya comenzó su implementación. Puede que su continuidad esté sujeta a la disponibilidad de recursos.
 - Implementada: ya se implementó. Como es la primera vez que se hace esta categorización con las acciones de mejora, en este PMC no hay ninguna mejora implementada.

- Modificada: acción que se modificó, resolviendo la necesidad a través de otra acción. Al igual que las implementadas, aún no hay acciones modificadas en este PMC por ser el primero.
- Categoría principal: sirve para priorizar las acciones asociadas a mejorar categorías principales.
- Criterio de calidad principal: para entender mejor la acción, se describe el principal criterio de calidad que se busca mejorar (transparencia, exhaustividad, comparabilidad, consistencia o exactitud).
- Revisión sucesiva: si el origen es un comentario de revisión externa, busca resaltar si este comentario se ha levantado en más de una revisión.
- Responsabilidad: define si el responsable de implementar la acción es el equipo técnico sectorial (interna) o si depende de una organización o institución externa al equipo técnico sectorial, por lo que no se puede comprometer.
- Recursos: si se cuenta con recursos para la implementación de la acción.

1.2.4. Creación y mantención de capacidades

Línea de acción enfocada en la creación, mantención e incremento de las capacidades técnicas de los profesionales del ET-Nacional del SNICHILE para la generación de los INGEI.

Para identificar las necesidades de capacitación, el ET-Coordinador realiza un diagnóstico de necesidades mediante la identificación de brechas y obstáculos, para luego priorizar las necesidades. La superación de brechas se ha realizado, usualmente, mediante talleres de capacitación durante las reuniones del SNICHILE.

A lo menos un profesional de cada equipo técnico del SNICHILE ha participado en talleres internacionales e intercambios de experiencias para el fomento de capacidades en materia de los inventarios. Esto ha sido útil para incrementar la capacidad de los equipos técnicos. De todos modos, se requiere robustecer las capacidades de los profesionales del SNICHILE que son investigadores, con el objetivo de fomentar la investigación científica y desarrollar datos de actividad suficientemente detallados y factores de emisión país específico que incrementen la calidad, principalmente exactitud, de las estimaciones del INGEI de Chile.

A la fecha se han efectuado talleres específicos para abordar temas técnicos como la evaluación de la incertidumbre, el acortamiento de brechas de la información y generalidades de los inventarios.

Otra iniciativa relevante del SNICHILE, relacionado con esta línea de acción, es la propuesta de la creación e implementación, desde 2013, de la Red Latinoamericana de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (RedINGEI)³³, la cual consiste en una iniciativa de cooperación sur-sur

³³ Más información de la RedINGEI en: <https://www.un-gsp.org/news/red-latinoamericana-de-inventarios-nacionales-de-gases-de-efecto-invernadero>

y triangular entre países latinoamericanos³⁴ de habla hispana y donantes internacionales con el objetivo principal de facilitar el desarrollo sostenible de capacidades técnicas e institucionales en materia de inventarios por medio del intercambio de experiencias, lecciones aprendidas y la adopción de buenas prácticas entre sus países miembros. En el marco de esta instancia de cooperación se han desarrollado una variada lista de actividades relevantes para el fomento de capacidades, como el acceso de dos profesionales del SNICHILE a los cursos de inventarios del Greenhouse Gas Management Institute (GHGMI), participación en webinars, intercambio de experiencias con países de la región, entre otros.

1.2.5. Archivo y comunicación

Esta línea de acción se enfoca en la documentación y el archivo de la información relacionada con el INGEI de Chile y con la difusión de dicha información, de modo de asegurar la gestión y la transparencia del INGEI de Chile.

1.2.5.1. Archivo: Sistema de Registro Tabular

Desde 2015, el ET-Coordinador ha implementado un sistema de documentación y archivo para el INGEI de Chile adecuado a las circunstancias nacionales, denominado Sistema de Registro Tabular (SRT), el cual consiste en un conjunto de carpetas y archivos (documentos y libros de cálculo) estandarizados con el fin de facilitar la gestión de los datos, la estimación de GEI y el tratamiento de los temas transversales relacionados con los INGEI del país. El SRT se encuentra alojado en una nube virtual administrada por el ET-Coordinador. El servicio permite a los usuarios almacenar, compartir y sincronizar carpetas y archivos en línea, entre computadores y otros usuarios. El SRT cuenta con un manual propio que incluye las instrucciones necesarias para la implementación y gestión de los libros de cálculo.

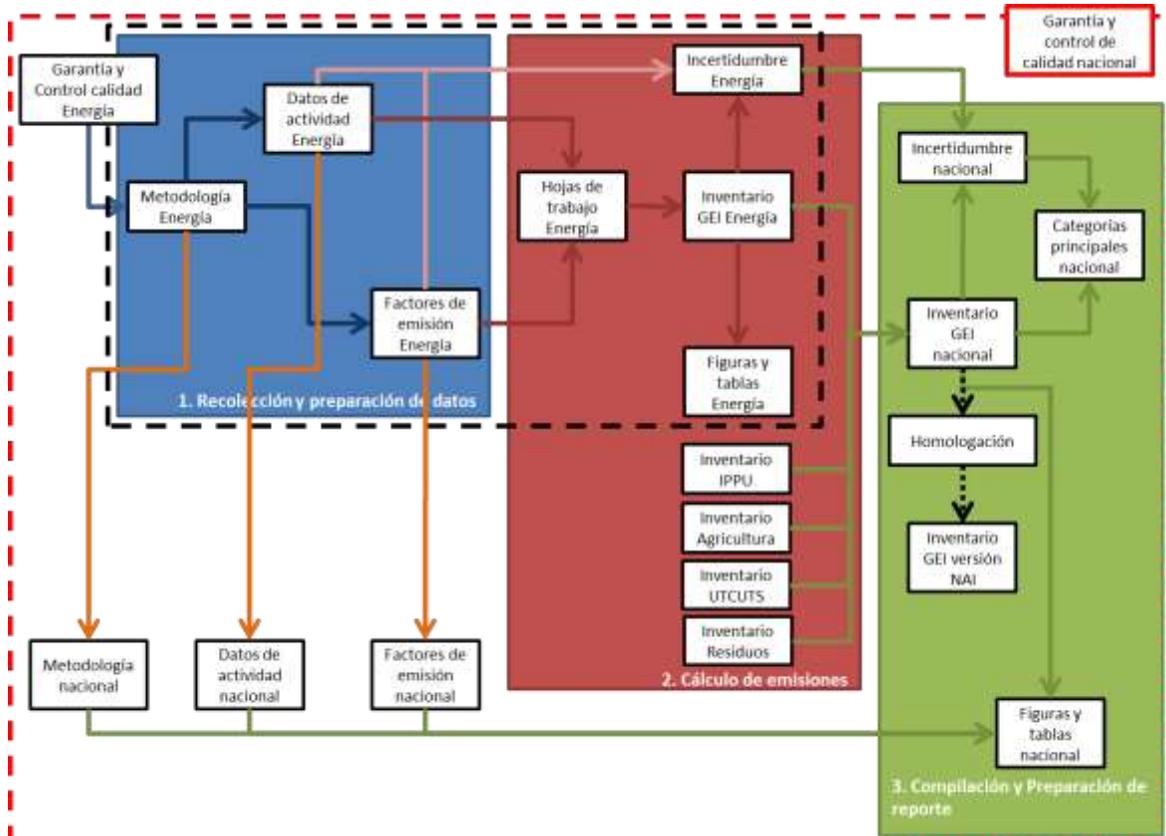
Adicionalmente, como parte del desarrollo del SRT, el país ha desarrollado su propia jerarquización de los sectores y categorías con base en las *Directrices del IPCC del 2006* y el Formato de reporte común bajo el cual reportan los países anexo I (CRF por sus siglas en inglés). En el denominado *Código SRT* los sectores quedan designados como (1) Energía; (2) IPPU; (3) Agricultura; (4) UTCUTS y (5) Residuos. El detalle de las categorías de fuente y sumidero puede ser encontrado en el Anexo 04.

Para comprender el SRT del SNICHILE es necesario entender el proceso de elaboración de los ISGEI y la compilación y elaboración del INGEI de Chile. Esto se presenta de manera simplificada en la

³⁴ Al 2020, la RedINGEI está integrada por 15 países miembros: Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana y Uruguay.

Figura 4, en donde se describe el proceso considerando la elaboración del ISGEI de Energía a modo de ejemplo.

Figura 4. Mapa de proceso para la actualización del ISGEI de Energía y la compilación del INGEI de Chile



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Como se muestra en la figura anterior, el proceso de elaboración del INGEI de Chile consta de tres etapas:

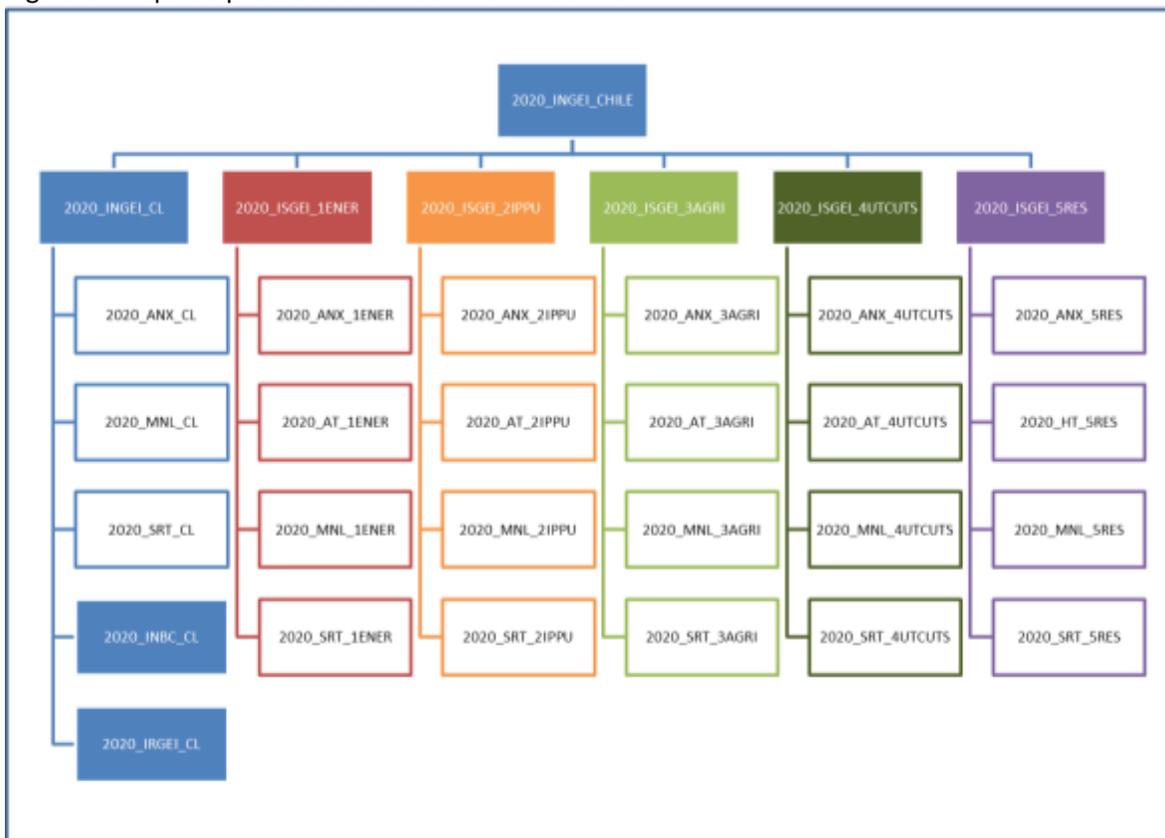
- 1) **Recolección y preparación de datos:** en esta primera etapa los ET-Sectoriales definen el método de Nivel para el cálculo de GEI de cada categoría de su respectivo sector. En función de esto se determinan los datos de actividad y paramétricos que serán necesarios. También se determinan los factores de emisión a usar. Toda esta información debe ser reportada por cada ET-Sectorial al ET-Coordinador con fines de documentación.
- 2) **Cálculo de GEI:** los datos recolectados en la etapa anterior son usados para la estimación de las emisiones y absorciones de GEI a lo largo de toda la serie temporal, las cuales conformarán los ISGEI respectivos. Adicionalmente se deberán estimar las incertidumbres a nivel sectorial y elaborar las tablas y gráficos correspondientes. Con todo esto cada ET-

Sectorial debe elaborar un *Informe del Inventario Sectorial de GEI* con base en la estructura del documento propuesta por la ET-Coordinadora, el que permitirá compilar y elaborar el IIN de Chile.

- 3) Compilación y elaboración del reporte: el ET-Coordinador reúne la información generada por los equipos sectoriales y compila la estimación de emisiones y absorciones de GEI de los ISGEI. Además, debe determinarse la incertidumbre total del INGEI de Chile, así como las categorías principales.

El SRT se ordena de acuerdo con la Figura 5, en donde se muestra la estructura de archivo establecida. Para cada sector (definido por sus siglas en formato YYYY) se crea una carpeta (2020_ISGEI_YYYY) que a su vez contiene cuatro subcarpetas: 2020_ANX_YYYY, que contiene todos los documentos de respaldos de los datos de actividades y otra información relevante para el sector; 2020_HT_YYYY, que contiene los documentos referidos exclusivamente a la estimación de GEI, como libros de cálculo o bases de datos del software del IPCC; y la subcarpeta 2020_SRT_YYYY contiene los libros de cálculo para el reporte de datos de actividad, factores de emisión, emisiones y otra información estipulada de antemano por el ET-Coordinador. Adicionalmente se crea una carpeta referida a información propia del INGEI (2020_INGEI_CL) en la que se compila la información sectorial y a la vez contiene la estimación de emisiones de carbono negro 2020_INBC_CL y de los inventarios regionales 2020_IRGEI_CL.

Figura 5. Mapa de proceso de SRT del INGEI de Chile



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Para la formulación tanto de los nombres de las carpetas y el resto de los documentos se estableció una estructura de nomenclatura, que indicara el año de presentación del documento o sufijo (2020 en este caso), el objetivo del documento o raíz y el sector asociado al documento (1ENER para Energía, 2IPPU para IPPU, 3AGRI para Agricultura, 4UTCUTS para UTCUTS, 5RES para Residuos y CL en el caso del INGEI).

La Tabla 7 presenta el listado de los códigos de libros de cálculo incluidos en las subcarpetas 2020_SRT_XYYY de cada sector, incluyendo una breve descripción de cada uno.

Tabla 7. Descripción de documentos del SRT

| Código | Nombre | Descripción |
|----------------|--|--|
| 2020_AI_XYYY | Arreglos Institucionales Sector XYYY | Archivo que contiene información base del equipo técnico sectorial respectivo, responsabilidades, acuerdos de trabajo, planificación sectorial, etc. |
| 2020_DA_XYYY | Datos de Actividad Sector XYYY | Archivo que contiene datos de actividad estadísticos y paramétricos para todas las categorías del sector respectivo |
| 2020_EFDB_XYYY | Base de Datos FE Nivel 2 Sector XYYY | Archivo que contiene los detalles de información necesaria de factores de emisión Nivel 2 del sector respectivo para ser ingresadas a la EFDB del IPCC |
| 2020_FE_XYYY | Factores de Emisión Sector XYYY | Archivo que contiene todos los factores de emisión utilizados por el sector respectivo |
| 2020_GEI_XYYY | Inventario Sectorial de GEI de XYYY | Archivo que contiene todas las tablas de emisiones de GEI por año y en serie de tiempo por GEI y en CO ₂ eq del ISGEI respectivo por GEI |
| 2020_INC_XYYY | Incertidumbre Sector XYYY | Archivo que contiene el cálculo y reporte de la incertidumbre del sector respectivo |
| 2020_MET_XYYY | Métodos Sector XYYY | Archivo que contiene información sobre los métodos utilizado (incluyendo las claves de notación) para la estimación de GEI |
| 2020_NARE_XYYY | Necesidades, apoyo recibido y entregado Sector XYYY | Archivo que contiene las necesidades y apoyo recibido y entregado levantadas por cada sector para el período 2019-2020 |
| 2020_SGCC_XYYY | Sistema de garantía y control de calidad del sector XYYY | Archivo que contiene todas las medidas de control y garantía de la calidad, responsables, plan de mejoramiento, mejoras realizadas y actividades de creación y mantención de actividades aplicadas o por aplicar del sector respectivo |
| 2020_TAB_XYYY | Tablas y figuras ISGEI de XYYY | Archivo que contiene las tablas y gráficos claves para el informe del ISGEI de respectivo |

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

En la carpeta 2020_SRT_CL se han dispuesto adicionalmente algunos documentos únicamente disponibles para la entidad a cargo de la compilación del INGEI, descritos en la Tabla 8.

Tabla 8. Descripción de documentos de SRT exclusivos de entidad coordinadora

| Código | Nombre | Descripción |
|-----------------|---|---|
| 2020_COD_CL | Nombres comunes | Archivo que homologa nombres de categorías desde la versión utilizada en el INGEI a una versión explicativa para la realidad de Chile |
| 2020_CP_CL | Categorías Principales | Archivo que contiene los cálculos y reporte de categorías principales del INGEI de Chile |
| 2020_GEIAR2_CL | Inventario Nacional de GEI de Chile con PCG AR2 | Equivalente al archivo 2020_GEI_CL pero utilizando los PCG del AR2 para la transformación de emisiones a CO ₂ eq |
| 2020_GEIAR5_CL | Inventario Nacional de GEI de Chile con PCG AR5 | Equivalente al archivo 2020_GEI_CL pero utilizando los PCG del AR5 para la transformación de emisiones a CO ₂ eq |
| 2020_INT_CL | Indicadores de intensidad carbónica | Archivo que contiene las series de tiempo de indicadores de emisiones de GEI por PIB y per cápita. |
| 2020_NARE_CL | Homologación | Archivo que contiene el proceso de homologación de categorías desde la versión GL2006 a la versión NAI |
| 2020_PLATGEI_CL | Plataforma Web Versión GL2006 | Archivo que contiene la base de datos de emisiones y absorciones de GEI, datos de actividad y factores de emisiones implícitos del INGEI de Chile (versión GL2006) para ser cargada en la plataforma web del SNICHILE |
| 2020_REP_CL | Inventario Nacional de GEI de Chile | Archivo que contiene todas las tablas de resumen por año y en serie de tiempo del INGEI de Chile en versión GL2006 |

| Código | Nombre | Descripción |
|----------------|---|--|
| 2020_REPNAI_CL | Inventario Nacional de GEI de Chile versión NAI | Archivo que contiene todas las tablas de resumen por año y en serie de tiempo del INGEI de Chile en versión no anexo I (NAI) |

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Por otro lado, en las subcarpetas 2020_SRT_XYYY de cada sector se encuentran los documentos de Word, 2020_IBA_XYYY y 2020_IIS_XYYY. El primero corresponde a la sección del sector correspondiente del capítulo del INGEI del IBA, mientras que el segundo contiene el capítulo del sector correspondiente para el IIN.

1.2.5.2. Comunicación

Para la sociabilización de la información relacionada con el INGEI de Chile, de modo de asegurar el acceso y la transparencia, desde 2015 el ET-Coordinador mantiene una plataforma virtual del SNICHILE (www.snichile.cl) para informar a la ciudadanía sobre las emisiones y absorciones nacionales de GEI. El objetivo último de la plataforma es difundir el INGEI de Chile, ser el reservorio centralizado de información para el SNICHILE y acercar a la población de manera interactiva al tema del cambio climático.

La principal característica de la web es contar con una herramienta de visualización en gráficos y tablas de las emisiones y absorciones de GEI del país (<https://snichile.mma.gob.cl/consulta/>). En esta el usuario puede hacer consultas personalizadas para obtener los resultados de acuerdo con sus requerimientos, pudiendo elegir: fuentes, período y tipo de GEI entre otros, además de que el resultando un gráfico interactivo.

Por último, los profesionales del ET-Nacional participan activamente en seminarios y talleres nacionales e internacionales en donde realizan difusión de INGEI de Chile con presentaciones estandarizadas, generadas por el ET-Coordinador.

1.3. Proceso de actualización del INGEI de Chile

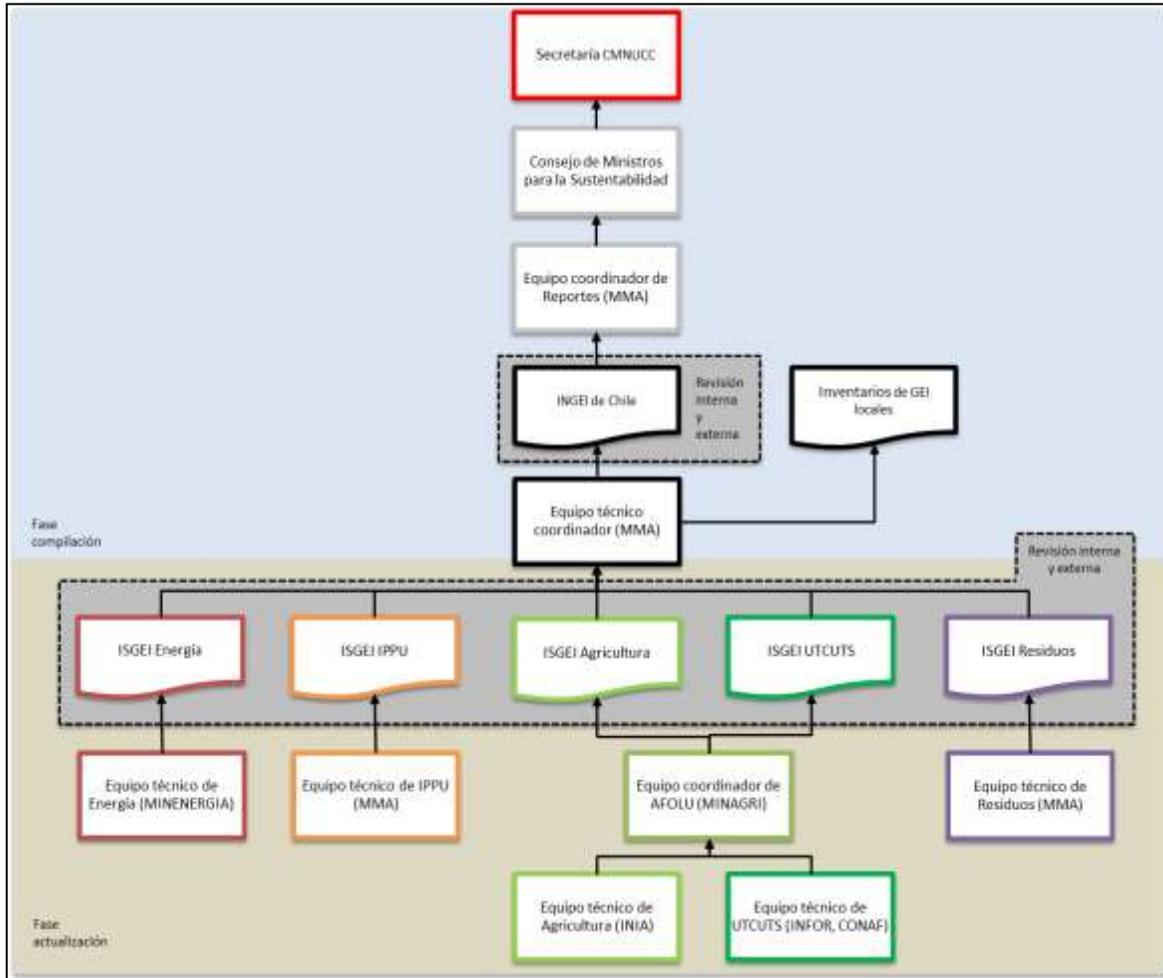
El proceso de actualización del presente INGEI de Chile comenzó el primer semestre de 2019 y concluyó en el segundo semestre de 2020. Como se observa en la Figura 6, cada Equipo Técnico Sectorial elabora el inventario de GEI de su propio sector lo que implica el levantamiento de la información; el cálculo de las emisiones y absorciones de GEI; y la elaboración del informe del ISGEI. Luego el ET-Coordinador compila los ISGEI y desarrolla los temas transversales, además, desarrolla el inventario de carbono negro y con ese material elabora el INGEI de Chile, los inventarios locales de GEI y sus respectivos informes. Enseguida cada ET-Sectorial aprueba el *Informe del Inventario Nacional* en su versión final.

Sobre el proceso de garantía de la calidad, cabe destacar que el INGEI 1990-2016 (que forma parte del IIN 2018, *Cuarta Comunicación Nacional* y 3IBA de Chile) culminó con una revisión de expertos internacionales en el marco de la RedINGEI. Dicha revisión, de carácter voluntaria, fue realizada en el país, con los expertos nacionales trabajando junto al Equipo de Revisores Expertos.

Por último, el INGEI de Chile se entrega al ECR para su inclusión en el 4IBA, en conjunto con los anexos y otra información relevante, como las necesidades y apoyo recibido y entregado en materia de inventarios.

Adicionalmente durante el proceso de ICA del 3IBA, el país se sometió, voluntariamente, a un proceso de revisión más exhaustivo efectuado por parte de la Secretaría de la CMNUCC. El proceso incluyó preguntas y aclaraciones adicionales sobre el INGEI 1990-2016 incluido en el reporte mencionado.

Figura 6. Proceso de actualización del INGEI de Chile 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Durante el proceso de actualización 2019-2020, la capacidad técnica del SNICHILE tuvo un importante avance debido a la experiencia adquirida en la elaboración de los INGEI de Chile anteriores, así como los procesos de revisión experta voluntarios. Se destacan la capacitación en el uso *Directrices del IPCC de 2006* y el uso del software del IPCC realizada por la CMNUCC en Santiago de Chile durante septiembre de 2019; y la revisión voluntaria realizada en el país en coordinación con la RedINGEI en mayo de 2019, que permitió traer a expertos de la región que analizaron el inventario de Chile y pudieron tener un intercambio técnico con el equipo del SNICHILE.

Respecto de los recursos financieros, durante 2019-2020, el SNICHILE fue financiado mediante presupuesto nacional del Gobierno de Chile y fondos provenientes de proyectos internacionales, como Biennial Update Report. Más información sobre aportes internacionales pueden consultarse en el capítulo cuarto del 4IBA.

En cuanto a los profesionales de los equipos técnicos, los líderes de equipo fueron profesionales permanentes del Gobierno de Chile, por lo tanto, son financiados con presupuesto nacional. Por otro lado, los profesionales encargados de las tareas cotidianas de la elaboración de los ISGEI fueron

financiados de forma mixta, algunos de ellos son trabajadores del Estado, mientras que otros fueron consultores externos contratados específicamente para la elaboración del INGEI de Chile con financiamiento de proyectos internacionales. En los últimos años, han existido importantes avances en la materia, ya que varios de los ET-Sectoriales han contratado, como personal permanente a sus consultores externos o han internalizado, dentro del perfil de cargo de sus profesionales, la función de desarrollar el INGEI de Chile.

1.4. Metodología y fuentes de información

1.4.1. Metodología y métodos

Para una cuantificación que asegure credibilidad, consistencia y comparabilidad entre los inventarios de los países, la CMNUCC propone las directrices metodológicas elaboradas por el IPCC para la elaboración o actualización de sus inventarios.

El presente INGEI de Chile, serie 1990-2018, es el resultado de la compilación de los ISGEI elaborados siguiendo las *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*³⁵ (y utilizando el software del IPCC³⁶ en algunas categorías); incluyendo el análisis de categorías principales, evaluación de la incertidumbre, evaluación de la exhaustividad y recálculos. El ET-Nacional ha decidido implementar, desde el inicio del SNICHILE y del proceso de actualización permanente, las *Directrices del IPCC de 2006* por las razones siguientes:

- Las *Directrices del IPCC de 2006* constituyen los mejores métodos de aplicación global actuales, ya que reflejan los últimos avances científicos para la cuantificación de emisiones y absorciones de GEI;
- El uso de las *Directrices del IPCC de 2006*, el SRT, y el software del IPCC permiten al país reportar sus emisiones en el formato requerido por la CMNUCC;
- Reducción de costos asociados a futuras actualizaciones metodológicas del INGEI de Chile, ya que la tendencia internacional, tanto de países desarrollados como de países en desarrollo, es hacia mejorar las metodologías para la elaboración de sus INGEI implementando las *Directrices del IPCC de 2006*; y
- Compatibilizar las metodologías de contabilización de GEI entre diferentes iniciativas desarrolladas por los ET-Sectoriales dentro del país, como por ejemplo al Programa HuellaChile para la gestión de GEI.

Además, el INGEI de Chile ha sido elaborado cumpliendo los requisitos de información de las *Directrices de la Convención para la presentación de los informes bienales de actualización de las Partes no incluidas en el anexo I de la Convención*³⁷ y de las *Directrices para la preparación de las comunicaciones nacionales de las Partes no incluidas en el anexo I de la Convención*³⁸.

³⁵ Disponible en www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html

³⁶ Disponible en www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html

³⁷ Anexo de la Decisión 17/COP8. Disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/spanish/cop8/cp807a02s.pdf#page=2>

³⁸ Anexo III de la Decisión 2/COP17. Disponible en <https://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/spa/09a01s.pdf#page=43>

Las *Directrices del IPCC de 2006* proporcionan orientaciones sobre buenas prácticas para elaborar inventarios de calidad. Los indicadores de la calidad en los inventarios son:

- **Transparencia:** debe existir documentación clara y suficiente para que las personas o los grupos que no sean los elaboradores del inventario entiendan cómo fue elaborado.
- **Exhaustividad:** se deben declarar las estimaciones para todas las categorías pertinentes de fuentes y sumideros, y de GEI, en la totalidad de la cobertura territorial del país.
- **Coherencia:** se deben realizar las estimaciones para diferentes años, gases y categorías, de tal forma que las diferencias entre años y categorías reflejen las diferencias reales en el balance de emisiones. Las tendencias anuales de los inventarios, en la medida de lo posible, deben calcularse por el mismo método y las mismas fuentes de datos en todos los años, y deben tener por objeto reflejar las fluctuaciones anuales reales de emisiones o absorciones, sin estar sujetas a los cambios resultantes de las diferencias metodológicas.
- **Comparabilidad:** se debe reportar el inventario de forma tal que permita su comparación con los inventarios correspondientes a otros países.
- **Exactitud:** no debe contener estimaciones excesivas ni insuficientes, en la medida en la que pueda juzgarse. Esto significa invertir todo el esfuerzo necesario para eliminar el sesgo en las estimaciones.

Por lo que los elaboradores de inventarios deben utilizar métodos de buenas prácticas para garantizar que los inventarios lleguen a ser lo más transparentes, exhaustivos, coherentes, comparables y exactos posibles, así como para garantizar el mejoramiento continuo con el transcurso del tiempo.

Para estimar las emisiones y absorciones de GEI, el abordaje metodológico general consiste en combinar la información sobre el alcance hasta el cual tiene lugar una actividad humana (denominados datos de la actividad o DA, los cuales pueden ser estadísticos o paramétricos) con los coeficientes que cuantifican las emisiones o absorciones por actividad unitaria (denominados factores de emisión o FE). Por consiguiente, la ecuación básica es:

$$\text{Emisiones de GEI} = \text{Datos de actividad (DA)} \times \text{Factores de emisión (FE)}$$

Aunque esta sencilla ecuación es muy usada, las *Directrices del IPCC de 2006* también contienen métodos de equilibrio de masa (principalmente para el sector UTCUTS) y métodos más complejos, divididos generalmente en tres niveles. El método de Nivel 1 es el «método por defecto», la instancia metodológica más simple, aplicable cuando no se cuenta con datos de actividad propios o factores de emisión país específicos. Si bien el método de Nivel 1 permite hacer el cálculo, tiene el riesgo de que las circunstancias nacionales no sean debidamente reflejadas. El método de Nivel 2 se basa en el mismo procedimiento metodológico del Nivel 1, pero con factores de emisión o datos de actividad paramétricos propios del país o de una región. En estas circunstancias, es altamente probable que las estimaciones de absorciones y emisiones de GEI sean más exactas, por lo cual esta opción debiera aplicarse a las categorías principales. El método de Nivel 3 corresponde a métodos específicos de un país (modelos, censos y otros), cuya aplicación se recomienda siempre que hayan

sido debidamente validados y, en el caso de los modelos, se hayan publicado en revistas científicas con comité editorial.

En la Tabla 9 se presenta un resumen de los métodos de Nivel aplicados en el INGEI de Chile. En la Sección 3 a la Sección 7 del presente capítulo hay información relativa a las metodologías y los métodos aplicados en cada sector. Destaca la aplicación de métodos de Nivel 2 y factores de emisión país específico. Para mayor detalle de la información, se alienta al lector a revisar los capítulos de cada sector en específico.

Tabla 9. Métodos de Nivel aplicados en el INGEI de Chile 1990-2018

| Categorías de fuente y sumidero de GEI | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | | HFC | | PFC | | SF ₆ | |
|--|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 1. Energía | T1, T2, IE, NA, NE, NO | D, IE, NA, NE, NO | T1, T2, IE, NA, NE, NO | D, IE, NA, NE, NO | T1, T2, IE, NA, NE, NO | D, IE, NA, NE, NO | | | | | | |
| 1.A. Actividades de quema de combustible (método sectorial) | T1, T2, IE, NE, NO | D, IE, NE, NO | T1, T2, IE, NE, NO | D, IE, NE, NO | T1, T2, IE, NE, NO | D, IE, NE, NO | | | | | | |
| 1.A.1. Industrias de la energía | T1, T2, NO | D, NO | T1, NO | D, NO | T1, NO | D, NO | | | | | | |
| 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE | | | | | | |
| 1.A.3. Transporte | T1, IE, NE | D, IE, NE | T1, T2, IE | D, IE | T1, T2, IE | D, IE | | | | | | |
| 1.A.4. Otros sectores | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE | | | | | | |
| 1.A.5. No especificado | T1, IE, NE | D, IE, NE | T1, IE, NE | D, IE, NE | T1, IE, NE | D, IE, NE | | | | | | |
| 1.B. Emisiones fugitivas de combustibles | T1, NA, NE, NO | D, NA, NE, NO | T1, NA, NE, NO | D, NA, NE, NO | NA, NE, NO | NA, NE, NO | | | | | | |
| 1.B.1. Combustibles sólidos | NA, NE | NA, NE | T1, NA, NE, NO | D, NA, NE, NO | NA | NA | | | | | | |
| 1.B.2. Petróleo y gas natural | T1, NE | D, NE | T1, NE | D, NE | NA, NE | NA, NE | | | | | | |
| 1.B.3. Otras emisiones provenientes de la producción de energía | NO | NO | NO | NO | NO | NO | | | | | | |
| 1.C. Transporte y almacenamiento de CO ₂ | NO | NO | | | | | | | | | | |
| 1.C.1. Transporte de CO ₂ | NO | NO | | | | | | | | | | |
| 1.C.2. Inyección y almacenamiento | NO | NO | | | | | | | | | | |
| 1.C.3. Otros | NO | NO | | | | | | | | | | |
| 2. Procesos industriales y uso de productos | T1, T2, NE, NO | D, CS, NE, NO | T1, IE, NO | D, IE, NO | T1, T2, T3, NA, NE, NO | D, CS, NA, NE, NO | T2a, T1, NO | D, NO | T1, NA, NO | D, NA, NO | T1, NA, NO | D, NA, NO |
| 2.A. Industria de los minerales | T2, NE, NO | D, NE, NO | | | | | | | | | | |
| 2.B. Industria química | T1, NO | D, NO | T1, NO | D, NO | T3, T2, NO | CS, NO | NO | NO | | | | |
| 2.C. Industria de los metales | T1, T2, NO | D, CS, NO | IE, NO | IE, NO | | | | | NO | NO | NO | NO |
| 2.D. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes | T1 | D | | | | | | | | | | |
| 2.E. Industria electrónica | | | | | | | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 2.F. Uso de productos como sustitutos de las SAO | | | | | | | T2a, T1 | D | T1, NO | D, NO | | |
| 2.G. Manufactura y utilización de otros productos | | | | | T1, NE, NA | D, NE, NA | | | NA, NO | NA, NO | T1, NA, NO | D, NA, NO |
| 2.H. Otros | | | | | | | | | | | | |
| 3. Agricultura | T1, NO, NA | D, NO, NA | T1, T2, NO, NA | CS, D, NE, NO, NA | T1, T2, NE, NO, NA | CS, D, NE, NO, NA | | | | | | |
| 3.A. Fermentación entérica | | | T1, T2, NO | CS, D, NO | | | | | | | | |
| 3.B. Gestión del estiércol | | | T1, T2, NO | CS, D, NO | T1, T2, NO | CS, D, NO | | | | | | |
| 3.C. Cultivo del arroz | | | T1, NE, NO | D, NE, NO | | | | | | | | |

| Categorías de fuente y sumidero de GEI | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | | HFC | | PFC | | SF ₆ | |
|--|-----------------------|----------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.D. Suelos agrícolas | | | | | T1, T2, NE | D, CS, NE | | | | | | |
| 3.E. Quema prescrita de sabanas | NO | NO | | | | | | | | | | |
| 3.F. Quema de residuos agrícola en el campo | | | T1 | D | T1 | D | | | | | | |
| 3.G. Encalado | T1 | D | | | | | | | | | | |
| 3.H. Aplicación de urea | T1 | D | | | | | | | | | | |
| 3.I. Otros fertilizantes que contienen carbono | NO | NO | | | | | | | | | | |
| 3.J. Otros | NA | NA | NA | NA | NA | NA | | | | | | |
| 4. Usos de la tierra, cambios en el uso de la tierra y silvicultura | T1, T2, NE, NO | D, CS, NE, NO | T1, T2 | D, CS | T1, T2 | D, CS | | | | | | |
| 4.A. Tierras forestales | T1, T2, NE, NO | D, CS, NE, NO | T1, T2 | D, CS | T1, T2 | D, CS | | | | | | |
| 4.B. Tierras de cultivo | T1, T2, NO | D, CS, NO | T1 | D | T1 | D | | | | | | |
| 4.C. Pastizales | T1, T2, NO | D, CS, NO | T1, T2 | D, CS | T1, T2 | D, CS | | | | | | |
| 4.D. Humedales | T1, T2, NO, NE | D, CS, NO, NE | | | | | | | | | | |
| 4.E. Asentamientos | T1, T2, NE | D, CS, NE | | | | | | | | | | |
| 4.F. Otras tierras | T1, T2, NE, NO | D, CS, NE, NO | T1, T2 | D, CS | T1, T2 | D, CS | | | | | | |
| 4.G. Productos de madera recolectada | T1, T2 | D, CS | | | | | | | | | | |
| 4.H. Otros (sírvase especificar) | | | | | | | | | | | | |
| 5. Residuos | T1 | D | T1, T2 | D, CS | T1 | D | | | | | | |
| 5.A. Disposición de residuos sólidos | | | T2 | D, CS | | | | | | | | |
| 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos | | | T1 | D | T1 | D | | | | | | |
| 5.C. Incineración y quema abierta de residuos | T1 | D | T1 | D | T1 | D | | | | | | |
| 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales | | | T2 | D, CS | T1 | D | | | | | | |
| 5.E. Otros | | | | | | | | | | | | |
| Anx. Partidas informativas | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE | | | | | | |
| Anx.1. Tanque internacional | T1 | D | T1 | D | T1 | D | | | | | | |
| Anx.1.a. Aviación internacional | T1 | D | T1 | D | T1 | D | | | | | | |
| Anx.1.b. Navegación internacional | T1 | D | T1 | D | T1 | D | | | | | | |
| Anx.2. Operaciones multilaterales | IE | IE | IE | IE | IE | IE | | | | | | |
| Anx.3. Emisiones de CO2 de la biomasa | T1 | D | | | | | | | | | | |

Nota: T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre; Celda sombreada= No aplica.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Tras estimar las emisiones y absorciones de cada uno de los GEI, y para el reporte de estos en forma agregada expresados en dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq), se aplicaron los potenciales de calentamiento global (PCG) del *Cuarto Informe de Evaluación del IPCC* (AR4). La Tabla 10 muestra los valores.

Tabla 10. PCG aplicados en el INGEI de Chile 1990-2018

| GEI | PCG |
|------------------|--------|
| CO ₂ | 1 |
| CH ₄ | 25 |
| N ₂ O | 298 |
| HFC-23 | 14.800 |
| HFC-32 | 675 |
| HFC-125 | 3.500 |
| HFC-134a | 1.430 |
| HFC-143a | 4.470 |
| HFC-152a | 124 |
| HFC-227ea | 3.220 |
| HFC-236fa | 9.810 |
| HFC-245fa | 1.030 |
| HFC-365mfc | 794 |
| HFC-43-10mee | 1.640 |
| PFC-14 | 7.390 |
| PFC-116 | 12.200 |
| PFC-218 | 8.830 |
| CF ₄ | 7.390 |
| SF ₆ | 22.800 |

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA con base en el AR4

1.4.2. Principales fuentes de información

A continuación, se presentan las principales fuentes de información (datos de actividad) utilizadas por cada sector en el INGEI de Chile. Mayor detalle sobre las fuentes de información utilizadas se podrá encontrar en cada capítulo sectorial y en la sección de Referencias.

- En el sector Energía se usaron datos de actividad y paramétricos provenientes, mayoritariamente, de los Balances Nacionales de Energía (BNE), estadísticas de parque vehicular para el transporte terrestre y factores de emisión por defecto.
- En el sector IPPU se usaron datos de actividad provenientes de los anuarios públicos de las empresas productivas, de las estadísticas oficiales de Chile del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), y del Servicio Nacional de Aduanas; y factores de emisión país específico para las producciones de cal, cemento, vidrio, hierro y acero, mientras que para el resto de las categorías fueron usados factores de emisión por defecto.
- En el sector Agricultura se usaron datos de actividad provenientes principalmente de los *Censos Agropecuarios*; y factores de emisión país específicos para la fermentación entérica (ganado bovino), manejo del estiércol (ganado bovino y porcino) y emisiones directas por uso de fertilizantes inorgánicos nitrogenados, mientras que para las otras categorías se usaron factores de emisión por defecto.
- En el sector UTCUTS se usaron datos de actividad provenientes principalmente del *Catastro Vegetacional y Estadísticas sectoriales*; y factores de emisión país específicos para las tierras

forestales provenientes principalmente del *Inventario Forestal Nacional*, mientras que para los otros usos de la tierra se usaron factores de emisión por defecto.

- En el sector Residuos se usaron datos de actividad provenientes de los *Censos* de población del INE, estadísticas de residuos sólidos del MMA, caudales de aguas residuales y lodos de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) y de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN) que elabora el Ministerio de Desarrollo Social (MDS); y factores de emisión por defecto.

Todos los factores de emisión por defecto provienen de las *Directrices del IPCC de 2006*, mientras que para la estimación de precursores provienen de la *Guía de inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos EMEP/AEMA 2016*³⁹. Destaca que la información más relevante del INGEI de Chile la generan las mismas instituciones a las cuales pertenecen los ET-Sectoriales, y en muchos casos son los mismos equipos los que también están a cargo de su elaboración. Esto es una ventaja por la disponibilidad de los datos, el uso eficiente de los recursos y la comprensión de la historia detrás de las distintas tendencias.

1.5. Categorías principales

El concepto de categoría principal permite identificar las categorías que repercuten significativamente en los inventarios de un país en términos del nivel absoluto, tendencias o incertidumbre de las emisiones y absorciones de GEI. Según las *Directrices del IPCC de 2006*, las categorías principales deben ser la prioridad para los países durante la asignación de recursos para la recopilación de datos, compilación, garantía y control de calidad, y generación de informes. En consecuencia, es una buena práctica usar los resultados del análisis de categorías principales como base para la opción metodológica. Ese proceso se traduce en una mejor calidad del inventario, así como en una mayor confianza en las estimaciones desarrolladas.

El ET-Coordinador del SNICHILE ha identificado las categorías principales del INGEI de Chile para 1990 y 2018 de acuerdo con los criterios de nivel y tendencia, aplicando el Método 1 y el Método 2.

El Método 1 evalúa la influencia que ejercen diversas categorías de emisión y absorción sobre el nivel y la tendencia del inventario. Por lo tanto, las categorías principales según el Método 1, son aquellas que, al sumarse acumuladas en orden de magnitud descendente, totalizan 95 % de la suma total de todas las emisiones y absorciones de GEI del país en términos absolutos.

El Método 2 incluye el análisis de la incertidumbre asociada a la emisión o absorción de GEI de cada categoría, ponderando los resultados de la evaluación de nivel y tendencia del Método 1. Por lo tanto, las categorías principales según el Método 2, son aquellas que, al sumarse acumuladas en orden de magnitud descendente, totalizan 90 % de la suma total de todas las emisiones y absorciones de GEI del país en términos absolutos.

En la Tabla 11 se resumen las fuentes de emisión y sumideros identificados como categorías principales, mostrando a la vez con una «X» el o los criterios y métodos por los que se categorizan de esta forma. Algunas categorías cumplen con criterios tanto de nivel como de tendencia y con ambos métodos, como es el caso de los principales sumideros y fuentes de emisión de 4.A.1. *Tierras*

³⁹ Disponible en <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>

forestales que permanecen como tales. Por otro lado, hay fuentes de emisión que son categoría principal sólo por un criterio como es el caso de 2.F.2. Agentes espumantes por la tendencia con Método 2.

Este resumen constituye la base para las discusiones con ET-Sectoriales sobre la calidad de las estimaciones y las posibles mejoras. Las categorías principales del INGEI de Chile son también objeto de una documentación más detallada y un control de calidad más exhaustivo.

Más información respecto al procedimiento realizado para el análisis de las categorías claves se encuentra en el ANEXO 01.

Tabla 11. Resumen de las categorías principales del INGEI de Chile 1990-2018, de acuerdo con las evaluaciones de nivel y tendencia, usando los Métodos 1 y 2

| Código SRT | Categoría de fuente y sumidero de GEI | GEI | Criterio de Identificación | | | | | |
|--------------|--|------------------|----------------------------|---------|-----|---------|---------|-----|
| | | | N1 1990 | N1 2018 | TD1 | N2 1990 | N2 2018 | TD2 |
| 1.A.1 | Industrias de la energía | CO ₂ | X | X | X | X | X | |
| 1.A.2 | Industrias manufactureras y de la construcción | CO ₂ | X | X | X | X | X | X |
| 1.A.3.a | Aviación civil | CO ₂ | X | X | | | | |
| 1.A.3.b | Transporte terrestre | CO ₂ | X | X | X | X | X | |
| 1.A.3.d | Navegación marítima y fluvial | CO ₂ | X | | X | | | |
| 1.A.3.e | Otro tipo de transporte | CO ₂ | | X | | | | |
| 1.A.4 | Otros sectores | CO ₂ | X | X | X | X | X | |
| 1.A.4 | Otros sectores | CH ₄ | | | | X | X | X |
| 1.B.1 | Combustibles sólidos | CH ₄ | X | | X | X | | X |
| 1.B.2.a | Petróleo | CH ₄ | X | | X | X | | X |
| 1.B.2.b | Gas natural | CH ₄ | X | | X | X | X | X |
| 2.A.1. | Producción de cemento | CO ₂ | X | | X | | | |
| 2.B.8.a. | Metanol | CO ₂ | X | | X | | | |
| 2.F.1. | Refrigeración y aire acondicionado | HFC | | X | X | | X | X |
| 2.F.2. | Agentes espumantes | HFC | | | | | | X |
| 3.A.1.a. | Vacas lecheras | CH ₄ | X | X | X | X | | X |
| 3.A.1.b.i. | Vacas carne | CH ₄ | X | X | X | X | | X |
| 3.A.1.b.ii. | Vaquillas | CH ₄ | X | | X | | | |
| 3.A.1.b.iii. | Adultos carne (novillo >2 años, toros y torunos, bueyes) | CH ₄ | | | X | | | |
| 3.A.1.b.iv. | Jóvenes carne (novillo 1-2 años) | CH ₄ | X | | X | X | | X |
| 3.A.1.b.v. | Terneros | CH ₄ | X | | X | | | |
| 3.A.2. | Ovinos | CH ₄ | X | | X | | | |
| 3.B.3. | Porcinos | CH ₄ | | X | | | | |
| 3.D.1.a. | Fertilizantes inorgánicos | N ₂ O | X | X | X | X | X | X |
| 3.D.1.c. | Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo | N ₂ O | X | X | X | X | X | X |
| 3.D.1.d. | Residuos de cosechas | N ₂ O | | | | X | X | X |
| 3.D.2.a.iii. | Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo | N ₂ O | | | | X | | X |
| 3.D.2.b.iii. | Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo | N ₂ O | | | | | | X |
| 4.A.1.a.i.1. | Renovales | CO ₂ | X | X | X | X | X | X |
| 4.A.1.a.i.2. | Planes de manejo (Ley Bosque nativo) | CO ₂ | X | X | X | X | X | X |
| 4.A.1.a.i.3. | Parques y reservas nacionales | CO ₂ | X | X | X | X | X | X |
| 4.A.1.a.ii. | Plantaciones forestales | CO ₂ | X | X | X | X | X | X |
| 4.A.1.b.i. | Cosecha | CO ₂ | X | X | X | X | X | X |
| 4.A.1.b.ii. | Leña | CO ₂ | X | X | X | X | X | X |
| 4.A.1.b.iii. | Perturbaciones | CO ₂ | X | X | X | X | X | |
| 4.A.1.c. | Tierras forestales con cambio de vegetación | CO ₂ | X | X | X | X | X | X |
| 4.A.2. | Tierras convertidas en tierras forestales | CO ₂ | X | X | X | X | X | X |
| 4.C.2. | Tierras convertidas en pastizales | CO ₂ | X | X | X | X | X | X |
| 4.G. | Productos de madera recolectada | CO ₂ | X | X | X | X | X | X |
| 5.A. | Sitios de disposición de residuos municipales | CH ₄ | X | X | | X | X | |
| 5.A. | Sitios de disposición de residuos industriales | CH ₄ | | | X | | X | X |
| 5.D.1. | Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas | CH ₄ | | X | | | X | |

Nota: N1 1990 = análisis de nivel 1990 Método 1; N1 2016 = análisis de nivel 2018 Método 1; TD1 = análisis de tendencia 1990-2018 Método 1; N2 1990 = análisis de nivel 1990 Método 2; N2 2018 = análisis de nivel 2016 Método 2; TD2 = análisis de tendencia 1990-2018 Método 2.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

1.6. Evaluación general de la incertidumbre

Según las *Directrices del IPCC de 2006*, las estimaciones de incertidumbre son parte esencial de un inventario exhaustivo de emisiones y absorciones de GEI. El análisis de la incertidumbre se debe considerar un medio para priorizar los esfuerzos nacionales destinados a aumentar la precisión y exactitud de los inventarios futuros y para guiar las decisiones sobre la elección metodológica.

Para el análisis de la incertidumbre del INGEI de Chile, el ET-Coordinador compiló las incertidumbres de factores de emisión, datos de actividad y otros parámetros de estimación de cada ISGEI y desarrolló un análisis usando el Método 1: Propagación del error de las *Directrices del IPCC de 2006*, que estima la incertidumbre en las categorías individuales en todo el inventario, y en las tendencias entre un año de interés y el año de base. Cabe destacar que la incertidumbre de cada categoría individualizada se pondera por las emisiones o absorciones de esa categoría para conocer el aporte a la incertidumbre combinada total.

De acuerdo con este análisis el balance de emisiones y absorciones de GEI del país presenta una incertidumbre combinada de -86,5 % y +86,8 %. En términos generales, los sectores que más aportan a la incertidumbre (contribución a la varianza) del 2018, son el sector UTCUTS, seguido del sector Residuos, el sector Energía, luego el sector Agricultura y por último el sector IPPU. En general, la incertidumbre del INGEI de Chile se explica por la complejidad de la estimación del sector UTCUTS, así como por el alto valor de las emisiones y absorciones de GEI de este sector en comparación con el total nacional; a esto se suma el uso de factores de emisión por defecto desde las *Directrices del IPCC de 2006* en sectores como Energía.

En el sector Energía, la incertidumbre combinada total fue de -3,4 % y +4,3 %. Las fuentes de incertidumbre que en mayor medida contribuyen a la varianza se encuentran en las emisiones fugitivas de CH₄ de la extracción de gas natural y combustibles sólidos, seguidas de las emisiones de CO₂ en los combustibles líquidos usados en los automóviles, y las emisiones de CO₂ de los combustibles sólidos en la producción de electricidad. En general, la incertidumbre del sector se explica por el uso de factores de emisión por defecto, más que por los datos de actividad levantados en el Balance Nacional de Energía.

En el sector IPPU, la incertidumbre combinada total fue de -34,7 % y +29,8 %. Las fuentes de incertidumbre que más contribuyen a la varianza están en las emisiones de HFC de las aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado, seguidas de las emisiones de CO₂ en la producción de cemento y cal. La incertidumbre del sector se debe tanto al uso de factores de emisión por defecto como a los datos de actividad.

En el sector Agricultura, la incertidumbre combinada total fue de -21,4 % y +22,2 %. Las fuentes de incertidumbre que más contribuyen a la varianza se hallan en las emisiones de N₂O por la orina y estiércol depositado por animales de pastoreo, fertilizantes inorgánicos y estiércol animal aplicado a los suelos. En general, la incertidumbre del sector se debe a la combinatoria de los numerosos datos paramétricos país específico que se usan para determinar los factores de emisión país específico.

En el sector UTCUTS, la incertidumbre combinada total fue de -64,6 % y +64,6 %. Las fuentes de incertidumbre que más contribuyen a la varianza se hallan en las emisiones y absorciones de CO₂ Renovales, Plantaciones forestales, de las emisiones de CO₂ de las trozas de *Pinus radiata* y de *Eucalyptus spp* y de absorciones por parques y reservas nacionales. En general, la incertidumbre del sector se debe a la combinatoria de los numerosos datos paramétricos país específico que se usan para determinar los factores de emisión país específico.

En el sector Residuos, la incertidumbre combinada total fue de -51,6 % y +99,9 %. Las fuentes que más contribuyen a la varianza están en las emisiones de CH₄ en la disposición de residuos sólidos en los diferentes sitios, seguidas de las emisiones de CH₄ y N₂O en el tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas. En general, la incertidumbre del sector se debe al uso de factores de emisión por defecto, salvo en las emisiones de CH₄ desde el tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas, caso en que la incertidumbre se relaciona mayoritariamente con los datos de actividad usados.

Más información respecto al procedimiento realizado para la evaluación general de la incertidumbre se encuentra en el ANEXO 02.

1.7. Evaluación general de la exhaustividad

En general, la exhaustividad significa que se han preparado estimaciones del inventario para todas las categorías y gases. En el caso que esto no sea posible, los países deben enumerar todas las categorías y los gases de las categorías que se hayan excluido y proveer una justificación para dicha exclusión.

El INGEI de Chile abarca todo el territorio nacional⁴⁰ e incluye emisiones y absorciones de GEI en una serie de tiempo que va desde 1990 a 2018, incluyendo cada año intermedio.

Los GEI incluidos en el INGEI de Chile son: CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC y SF₆. Es importante mencionar el avance del inventario respecto al proceso anterior en cuanto al esfuerzo realizado para la inclusión de la estimación de emisiones de PFC. Por otra parte, se incluyen los precursores CO, NO_x, COVDM y SO₂, que se calcularon para todas las fuentes incluidas en el INGEI de Chile y que cuentan con metodologías y factores de emisión por defecto.

Las categorías que han sido excluidas, ya sea por falta de datos de actividad o por falta de metodologías apropiadas, se han reportado usando claves de notación⁴¹ en las tablas de reporte de este documento. En línea con las buenas prácticas de las *Directrices del IPCC de 2006*, y para mayor transparencia, en el ANEXO 03 se listan las categorías identificadas como no estimadas (NE) y aquellas incluidas en otro lugar (IE), las cuales deberán ser priorizadas en INGEI futuros — dependiendo de un análisis de costo/beneficio— con el objeto de avanzar en la exhaustividad de las estimaciones.

Respecto de los depósitos de carbono del sector UTCUTS, en el presente INGEI de Chile se incluyó la biomasa viva (aérea y subterránea) y madera muerta con factores país específico. Adicionalmente

⁴⁰ No se estiman todas las fuentes correspondientes al territorio insular y antártico.

⁴¹ Las claves de notación son: NE = No estimada; IE = Incluida en otro lugar; C = Confidencial; NA = No aplica; NO = No ocurre.

se incluyeron los depósitos correspondientes a hojarasca y materia orgánica del suelo utilizando valores por defecto.

En conformidad con los requerimientos de la CMNUCC y de las *Directrices del IPCC de 2006*, las emisiones de GEI generadas por el consumo de combustibles fósiles para el transporte internacional aéreo y marítimo, y las emisiones de CO₂ de la biomasa quemada con fines energéticos han sido cuantificadas y reportadas como *Partidas informativas*, pero no se incluyeron en el balance de emisiones y absorciones de GEI del país.

2. TENDENCIAS DE LAS EMISIONES Y ABSORCIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE CHILE

En 2018, las emisiones netas⁴² de CO₂ del país contabilizaron 23.007 kt; las emisiones de CH₄ contabilizaron 595 kt y las emisiones de N₂O contabilizaron 22 kt. En el caso de los gases fluorados, las emisiones de HFC contabilizaron 3.830 kt CO₂ eq; las emisiones de PFC fueron de 0,8 kt CO₂ eq; y las emisiones de SF₆ de 111 kt CO₂ (Tabla 12).

Respecto a los gases precursores, en 2018 las emisiones en todo el país fueron las siguientes: el NO_x contabilizó 302 kt; el CO contabilizó 992 kt; los compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM) contabilizaron 407 kt; y, por último, el SO₂ contabilizó 364 kt (Tabla 12).

Junto con la información presentada en la (Tabla 12), en el ANEXO 04 se reportan los GEI para toda la serie temporal.

⁴² En el presente informe, el término «emisiones netas» refiere a la sumatoria de las emisiones y absorciones de GEI, también se entenderá como «balance de GEI».

Tabla 12. INGEI de Chile: emisiones antropógenas por las fuentes y absorción antropógena por los sumideros de todos los GEI no controlados por el Protocolo de Montreal y los precursores de los GEI, 2018

| Categorías de fuente y sumidero de GEI | CO ₂ neto | CH ₄ | N ₂ O | HFC | PFC | SF ₆ | NOx | CO | COVDM | SO ₂ |
|---|----------------------|-----------------|------------------|--------------------------------------|------------|-----------------|--------------|-------------------|--------------|-----------------|
| | (kt) | | | Equivalentes de CO ₂ (kt) | | | (kt) | | | |
| Todas las emisiones y las absorciones nacionales | 23.007,1 | 595,0 | 21,8 | 3.829,8 | 0,8 | 111,4 | 302,2 | 992,2 | 406,7 | 364,0 |
| 1. Energía | 84.141,9 | 71,9 | 3,4 | | | | 288,7 | 838,3 | 278,5 | 362,3 |
| 1.A. Actividades de quema de combustible (método sectorial) | 84.139,0 | 32,8 | 3,4 | | | | 286,6 | 821,4 | 273,1 | 362,3 |
| 1.A.1. Industrias de la energía | 33.563,4 | 1,1 | 0,5 | | | | 99,7 | 49,3 | 0,8 | 115,5 |
| 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción | 15.425,9 | 3,7 | 0,5 | | | | 100,0 | 162,1 | 77,9 | 89,6 |
| 1.A.3. Transporte | 27.857,9 | 5,8 | 2,1 | | | | 67,1 | 319,0 | 150,7 | 119,5 |
| 1.A.4. Otros sectores | 7.287,7 | 22,2 | 0,3 | | | | 19,7 | 291,0 | 43,8 | 37,6 |
| 1.A.5. No especificado | 4,1 | 0,0 | 0,0 | | | | NE | NE | NE | NE |
| 1.B. Emisiones fugitivas de combustibles | 2,9 | 39,1 | 0,0 | | | | 2,1 | 16,9 | 5,4 | NA, NE |
| 1.B.1. Combustibles sólidos | NA, NE | 3,7 | NA | | | | NA | NA | 1,1 | NA |
| 1.B.2. Petróleo y gas natural | 2,9 | 35,4 | 0,0 | | | | 2,1 | 16,9 | 4,3 | NE |
| 1.B.3. Otras emisiones provenientes de la producción de energía | NO | NO | NO | | | | NO | NO | NO | NO |
| 1.C. Transporte y almacenamiento de CO ₂ | NO | | | | | | NO | NO | NO | NO |
| 1.C.1. Transporte de CO ₂ | NO | | | | | | NO | NO | NO | NO |
| 1.C.2. Inyección y almacenamiento | NO | | | | | | NO | NO | NO | NO |
| 1.C.3. Otros | NO | | | | | | NO | NO | NO | NO |
| 2. Procesos industriales y uso de productos | 2.559,0 | 1,4 | 0,3 | 3.829,8 | 0,8 | 111,4 | 5,6 | NE, NO, NA | 0,1 | 1,6 |
| 2.A. Industria de los minerales | 1.515,2 | | | | | | NE | NE | NE | NE |
| 2.B. Industria química | 402,0 | 1,4 | 0,3 | NO | | | 5,6 | NE | NO | NE |
| 2.C. Industria de los metales | 519,2 | IE, NO | | | NO | NO | NE, NO | NE, NO | 0,1 | 1,6 |
| 2.D. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes | 122,7 | | | | | | NE | NE | NE | NE |
| 2.E. Industria electrónica | | | | NO | | | | | | |
| 2.F. Uso de productos como sustitutos de las SAO | | | | 3.829,8 | 0,8 | | | | | |
| 2.G. Manufactura y utilización de otros productos | | | 0,0 | | NO, NA | 111,4 | NE | NE | NE | NE |
| 2.H. Otros | | | | | | | NA | NA | NA | NA |
| 3. Agricultura | 440,8 | 255,2 | 16,7 | | | | 4,1 | 35,8 | 112,6 | |
| 3.A. Fermentación entérica | | 198,8 | | | | | | | | |
| 3.B. Gestión del estiércol | | 49,4 | 0,9 | | | | | | 8,8 | |
| 3.C. Cultivo del arroz | | 5,9 | | | | | IE | | NE | |
| 3.D. Suelos agrícolas | | | 15,8 | | | | 3,1 | | 103,8 | |
| 3.E. Quema prescrita de sabanas | NO | | | | | | | | | |
| 3.F. Quema de residuos agrícola en el campo | | 1,1 | 0,0 | | | | 1,0 | 35,8 | | |
| 3.G. Encalado | 75,1 | | | | | | | | | |
| 3.H. Aplicación de urea | 365,7 | | | | | | | | | |
| 3.I. Otros fertilizantes que contienen carbono | NO | | | | | | | | | |
| 3.J. Otros | NO | | NO | | | | | | | |
| 4. Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura | -64.184,6 | 4,6 | 0,3 | | | | 3,0 | 106,0 | | |
| 4.A. Tierras forestales | -61.532,2 | 4,5 | 0,3 | | | | 2,9 | 103,1 | | |
| 4.B. Tierras de cultivo | 994,4 | 0,0 | 0,0 | | | | 0,0 | 0,6 | | |
| 4.C. Pastizales | 3.303,5 | 0,1 | 0,0 | | | | 0,1 | 2,3 | | |
| 4.D. Humedales | 3,6 | | | | | | | | | |
| 4.E. Asentamientos | 274,0 | | | | | | | | | |
| 4.F. Otras tierras | 305,7 | NO | NO | | | | NO | NO | | |

| Categorías de fuente y sumidero de GEI | CO ₂ neto | CH ₄ | N ₂ O | HFC | PFC | SF ₆ | NO _x | CO | COVDM | SO ₂ |
|---|----------------------|-----------------|------------------|--------------------------------------|-----|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-----------------|
| | (kt) | | | Equivalentes de CO ₂ (kt) | | | (kt) | | | |
| 4.G. Productos de madera recolectada | -7.533,7 | | | | | | | | | |
| 4.H. Otros (sírvase especificar) | | | | | | | | | | |
| 5. Residuos | 50,0 | 261,9 | 1,2 | | | | 0,7 | 12,1 | 15,5 | 0,0 |
| 5.A. Disposición de residuos sólidos | | 187,7 | | | | | | | 15,4 | |
| 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos | | 1,6 | 0,1 | | | | | | NE | |
| 5.C. Incineración y quema abierta de residuos | 50,0 | 1,4 | 0,0 | | | | 0,7 | 12,1 | | 0,0 |
| 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales | | 71,2 | 1,1 | | | | | | 0,1 | |
| 5.E. Otros | | | | | | | | | | |
| Anx. Partidas informativas | | | | | | | | | | |
| Anx.1. Tanque internacional | 2.663,5 | 0,1 | 0,1 | | | | 3,1 | 27,4 | 1,2 | 25,3 |
| Anx.1.a. Aviación internacional | 1.783,4 | 0,0 | 0,0 | | | | 1,1 | 5,8 | 0,5 | 7,7 |
| Anx.1.b. Navegación internacional | 880,1 | 0,1 | 0,0 | | | | 2,0 | 21,6 | 0,7 | 17,5 |
| Anx.2. Operaciones multilaterales | IE | IE | IE | | | | IE | IE | IE | IE |
| Anx.3. Emisiones de CO ₂ de la biomasa | 22.086,3 | | | | | | | | | |

Nota 1: Los valores 0,0 corresponden a cantidades menores a 0,05.

Nota 2: C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

2.1. Tendencia de las emisiones de GEI totales de Chile

En 2018, las emisiones de GEI totales⁴³ del país contabilizaron 112.313 kt CO₂ eq, incrementándose en un 128 % desde 1990 —año base de la serie temporal— y en un 2 % desde 2016 —último año inventariado en la serie temporal presentada en el 3IBA de Chile— (Tabla 13 y Figura 7). Las principales fuentes son las emisiones de CO₂ generadas por la quema de combustibles fósiles para la generación eléctrica y el transporte terrestre (contabilizadas en el sector Energía), las emisiones de CH₄ generadas por el ganado (fermentación entérica y manejo del estiércol) y las emisiones de N₂O generadas por la aplicación de nitrógeno en los suelos agrícolas (las últimas dos contabilizadas en el sector Agricultura).

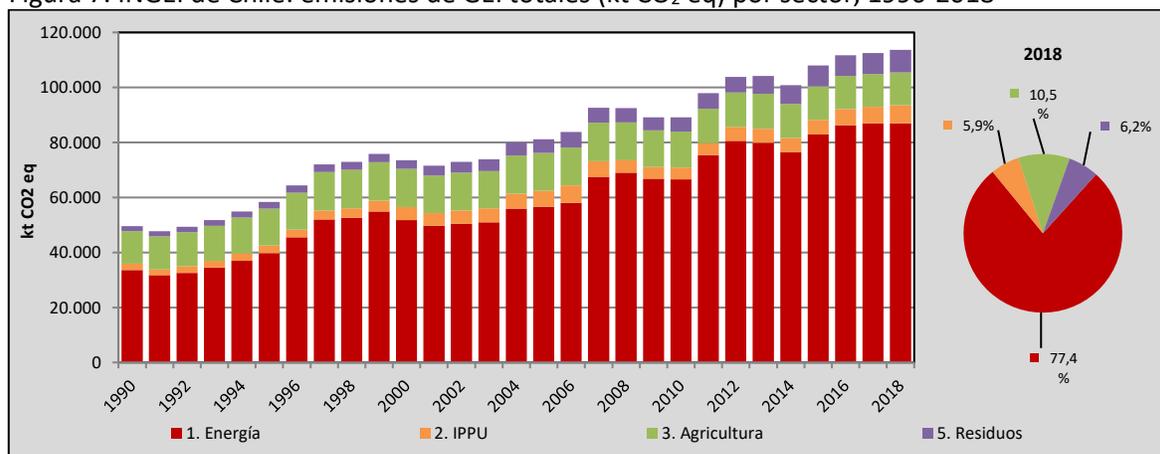
Respecto a las emisiones de GEI totales por sector (Figura 7), el sector Energía representó un 77 %, seguido del sector Agricultura (10 %), del sector Residuos (6 %), y finalmente del sector IPPU (6 %).

Tabla 13. INGEI de Chile: emisiones de GEI totales (kt CO₂ eq) por sector

| Sector | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1. Energía | 33.631,4 | 51.746,4 | 66.607,7 | 79.901,3 | 86.191,0 | 86.896,1 | 86.954,3 |
| 2. IPPU | 2.224,2 | 4.803,6 | 4.279,6 | 5.084,5 | 5.977,1 | 6.079,8 | 6.611,3 |
| 3. Agricultura | 11.834,8 | 13.708,9 | 12.921,1 | 12.597,4 | 11.881,3 | 11.724,0 | 11.789,4 |
| 5. Residuos | 1.519,0 | 2.742,6 | 4.133,6 | 5.095,1 | 6.106,6 | 6.515,7 | 6.957,6 |
| Total | 49.209,5 | 73.001,4 | 87.942,1 | 102.678,4 | 110.156,0 | 111.215,6 | 112.312,6 |

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Figura 7. INGEI de Chile: emisiones de GEI totales (kt CO₂ eq) por sector, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

2.1.1. Tendencias de las emisiones de GEI totales por gas

En 2018, las emisiones de GEI totales estuvieron dominadas por el CO₂, representando un 78 %, seguido del CH₄ con un 13 %, del N₂O con un 6 % y de los gases fluorados que contabilizan colectivamente un 4 % (Tabla 14 y Figura 8).

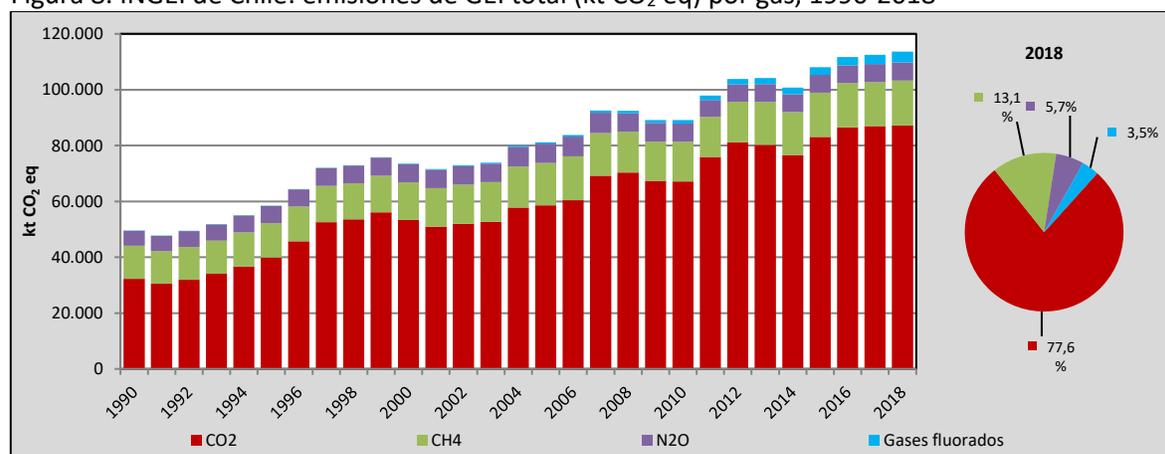
⁴³ El término «emisiones de GEI totales» refiere solo a la sumatoria de las emisiones de GEI nacionales, expresadas en CO₂ eq. Este término excluye las fuentes de emisión y sumideros de absorción del sector UTCUTS.

Tabla 14. INGEI de Chile: emisiones de GEI total por gas (kt CO₂ eq)

| GEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| CO ₂ | 32.252,8 | 53.317,9 | 67.152,5 | 80.260,6 | 86.507,2 | 87.003,0 | 87.191,7 |
| CH ₄ | 11.527,6 | 13.034,0 | 12.948,5 | 13.842,6 | 14.214,8 | 14.376,9 | 14.758,9 |
| N ₂ O | 5.412,0 | 6.461,2 | 6.497,0 | 6.440,0 | 6.368,0 | 6.442,6 | 6.419,9 |
| Gases fluorados | 17,2 | 188,2 | 1.344,1 | 2.135,2 | 3.066,0 | 3.393,1 | 3.942,0 |
| Total | 49.209,5 | 73.001,4 | 87.942,1 | 102.678,4 | 110.156,0 | 111.215,6 | 112.312,6 |

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Figura 8. INGEI de Chile: emisiones de GEI total (kt CO₂ eq) por gas, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

2.1.1.1. Dióxido de carbono (CO₂)

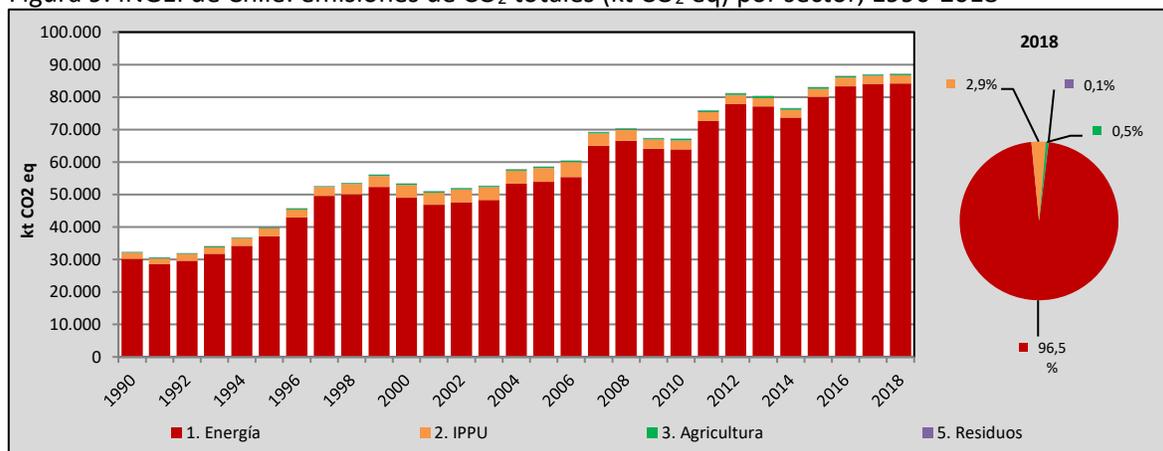
En 2018, las emisiones de CO₂ totales contabilizaron 87.192 kt CO₂ eq, incrementándose en un 170 % desde 1990 y en un 1 % desde 2016 (Tabla 15 y Figura 9). El sector de mayor relevancia es Energía con un 97 % debido principalmente a la quema de combustibles fósiles; lo sigue el sector IPPU con un 3 % debido a la producción de hierro y acero; luego el sector Agricultura con un 1 % por la quema de residuos agrícolas; y finalmente el sector Residuos, con menos de un 1 % asociado a la quema de residuos hospitalarios.

Tabla 15. INGEI de Chile: emisiones de CO₂ totales (kt CO₂ eq) por sector

| Sector | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1. Energía | 30.156,6 | 48.971,8 | 63.929,8 | 77.111,6 | 83.319,6 | 84.086,6 | 84.141,9 |
| 2. IPPU | 1.868,5 | 3.951,5 | 2.714,8 | 2.596,8 | 2.697,6 | 2.427,6 | 2.559,0 |
| 3. Agricultura | 203,4 | 366,5 | 470,1 | 509,3 | 445,4 | 442,9 | 440,8 |
| 5. Residuos | 24,2 | 28,1 | 37,8 | 42,9 | 44,6 | 45,9 | 50,0 |
| Total | 32.252,8 | 53.317,9 | 67.152,5 | 80.260,6 | 86.507,2 | 87.003,0 | 87.191,7 |

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Figura 9. INGEI de Chile: emisiones de CO₂ totales (kt CO₂ eq) por sector, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

2.1.1.2. Metano (CH₄)

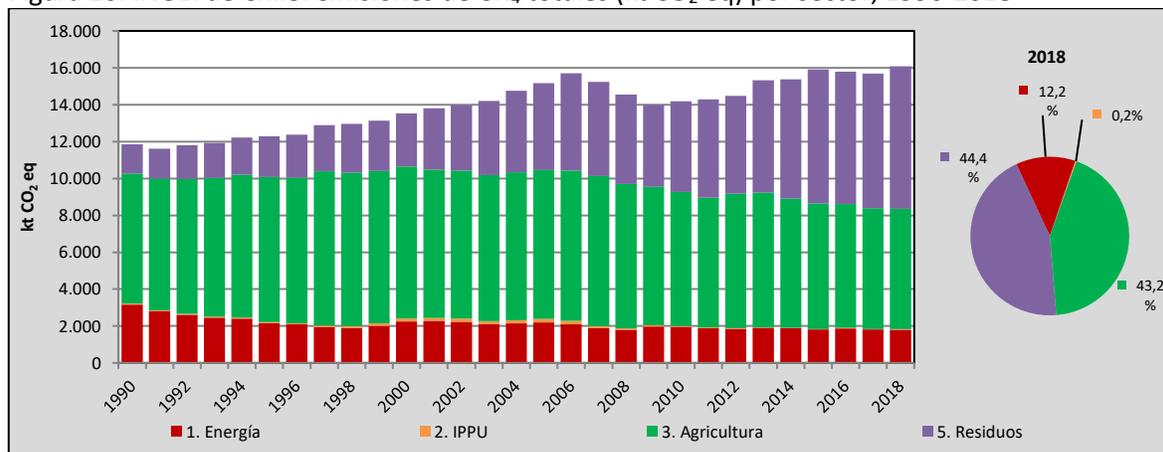
En 2018, las emisiones de CH₄ totales contabilizaron 14.759 kt CO₂ eq, incrementándose en un 28 % desde 1990 y en un 4 % desde 2016 (Tabla 16 y Figura 10). El sector Residuos es el de mayor relevancia respecto a las emisiones de CH₄, con un 44 % debido principalmente a la metanogénesis de los residuos sólidos en sitios de disposición final y las aguas servidas domiciliarias; lo sigue el sector Agricultura, con un 43 % debido a la fermentación entérica del ganado; el sector Energía aporta con el 12 %, asociado al uso de leña en el sector residencial; y el sector IPPU con un 0,2 %, generado por la producción de metanol.

Tabla 16. INGEI de Chile: emisiones de CH₄ totales (kt CO₂ eq) por sector

| Sector | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1. Energía | 3.161,8 | 2.240,0 | 1.948,2 | 1.897,9 | 1.873,0 | 1.812,2 | 1.796,5 |
| 2. IPPU | 54,3 | 171,0 | 57,1 | 21,0 | 22,3 | 23,4 | 34,5 |
| 3. Agricultura | 7.002,9 | 8.151,2 | 7.152,5 | 7.195,7 | 6.598,3 | 6.419,9 | 6.380,6 |
| 5. Residuos | 1.308,5 | 2.471,9 | 3.790,7 | 4.728,0 | 5.721,3 | 6.121,4 | 6.547,3 |
| Total | 11.527,6 | 13.034,0 | 12.948,5 | 13.842,6 | 14.214,8 | 14.376,9 | 14.758,9 |

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Figura 10. INGEI de Chile: emisiones de CH₄ totales (kt CO₂ eq) por sector, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

2.1.1.3. Óxido nitroso (N₂O)

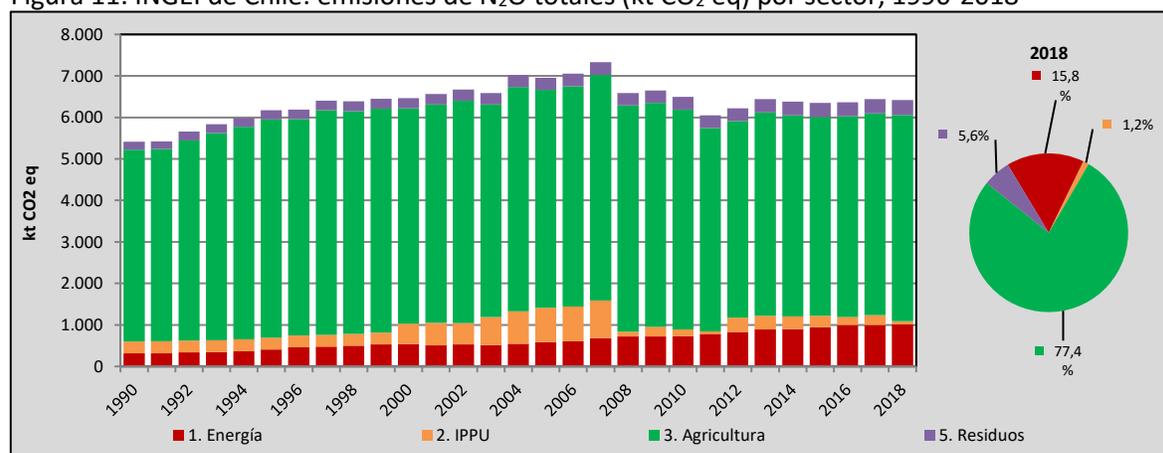
En 2018, las emisiones de N₂O totales contabilizaron 6.420 kt CO₂ eq, incrementándose en un 19 % desde 1990 y en un 1 % desde 2016 (Tabla 17 y Figura 11). El sector de mayor relevancia respecto a las emisiones de N₂O es Agricultura, con un 78 % debido principalmente a las actividades pecuarias asociadas con el estiércol y orina depositados directamente en el suelo; lo sigue el sector Energía, que aporta con un 16 % asociado con el uso de automóviles; el sector Residuos aporta un 6 %, generado por el tratamiento de aguas servidas domiciliarias; y finalmente, el sector IPPU con un 1 %, debido a la producción de ácido nítrico.

Tabla 17. INGEI de Chile: emisiones de N₂O totales (kt CO₂ eq) por sector

| Sector | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1. Energía | 312,9 | 534,6 | 729,6 | 891,9 | 998,4 | 997,3 | 1.015,8 |
| 2. IPPU | 284,2 | 492,9 | 163,7 | 331,5 | 191,1 | 235,7 | 75,8 |
| 3. Agricultura | 4.628,4 | 5.191,2 | 5.298,6 | 4.892,4 | 4.837,6 | 4.861,2 | 4.968,1 |
| 5. Residuos | 186,4 | 242,6 | 305,1 | 324,2 | 340,8 | 348,4 | 360,3 |
| Total | 5.412,0 | 6.461,2 | 6.497,0 | 6.440,0 | 6.368,0 | 6.442,6 | 6.419,9 |

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Figura 11. INGEI de Chile: emisiones de N₂O totales (kt CO₂ eq) por sector, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

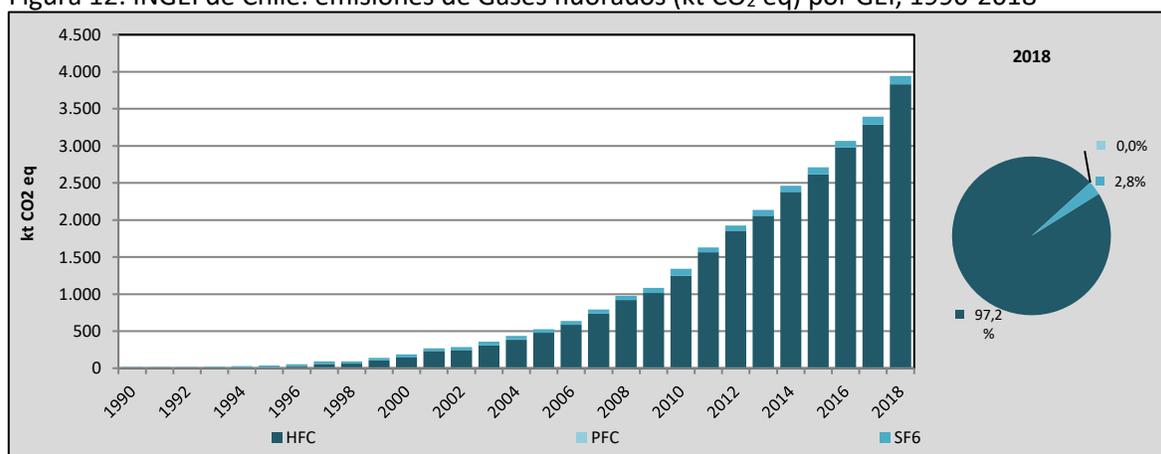
2.1.1.4. Gases fluorados

En 2018, las emisiones de gases fluorados contabilizaron 3.942 kt CO₂ eq. Si bien estos gases son los menos relevante en términos de las emisiones totales, destaca el importante incremento del 22.850 % desde 1990 y del 29 % desde 2016 (Tabla 18 y Figura 12), lo que refleja la creciente importancia de estos GEI. El sector IPPU es el único sector que genera emisiones por gases fluorados en el país, principalmente por el *Uso de productos sustitutos de las SAO*.

Tabla 18. INGEI de Chile: emisiones de Gases fluorados (kt CO₂ eq) por grupo

| GEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------|-------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| HFC | 0,0 | 144,4 | 1.245,6 | 2.057,7 | 2.978,2 | 3.285,9 | 3.829,8 |
| PFC | NO | NO | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| SF ₆ | 17,1 | 43,8 | 98,3 | 77,3 | 86,8 | 106,4 | 111,4 |
| Total | 17,2 | 188,2 | 1.344,1 | 2.135,2 | 3.066,0 | 3.393,1 | 3.942,0 |

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Figura 12. INGEI de Chile: emisiones de Gases fluorados (kt CO₂ eq) por GEI, 1990-2018

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

2.2. Tendencia del balance de GEI de Chile

En 2018, el balance de GEI⁴⁴ de Chile contabilizó 48.321 kt CO₂ eq, incrementándose en un 542 % desde 1990 y en un 36 % desde 2016 (Tabla 19). Los principales causantes de la tendencia del balance de GEI (Figura 13) son las emisiones de CO₂ generadas por la quema de combustibles fósiles (contabilizadas en el sector Energía) y las absorciones de CO₂ de las tierras forestales (contabilizadas en el sector UTCUTS); los valores observados que escapan de la tendencia del balance de GEI (en 1998, 2002, 2007, 2012, 2015 y especialmente 2017) son consecuencias, principalmente, de las emisiones de GEI generadas por los incendios forestales (contabilizadas en el sector UTCUTS) y los cambios en la participación de los principales energéticos consumidos en el país (diésel, gasolina, gas natural y carbón).

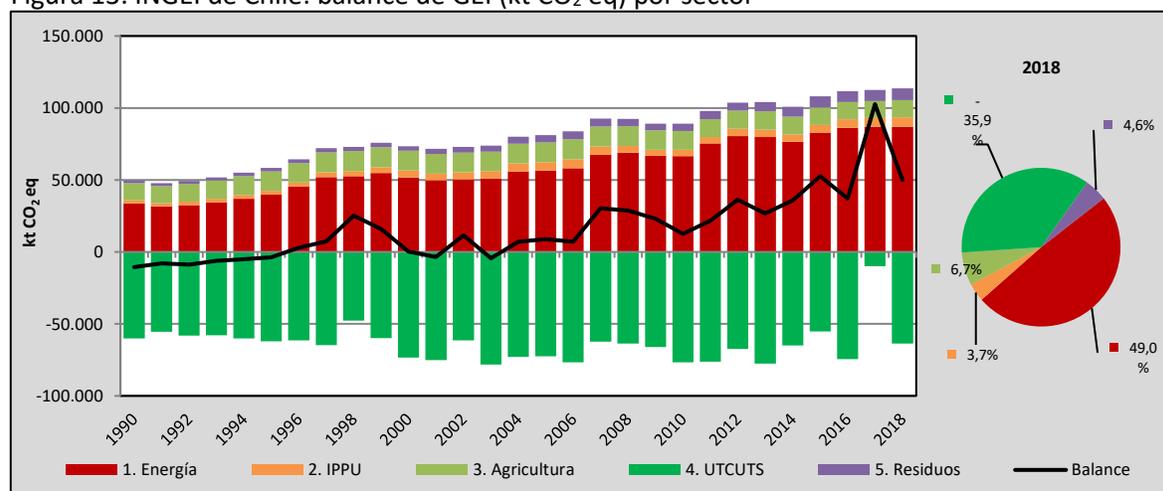
Tabla 19. INGEI de Chile: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por sector

| Sector | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1. Energía | 33.631,4 | 51.746,4 | 66.607,7 | 79.901,3 | 86.191,0 | 86.896,1 | 86.954,3 |
| 2. IPPU | 2.224,2 | 4.803,6 | 4.279,6 | 5.084,5 | 5.977,1 | 6.079,8 | 6.611,3 |
| 3. Agricultura | 11.834,8 | 13.708,9 | 12.921,1 | 12.597,4 | 11.881,3 | 11.724,0 | 11.789,4 |
| 4. UTCUTS | -60.152,6 | -73.364,3 | -76.966,4 | -77.561,5 | -74.697,9 | -11.710,3 | -63.991,9 |
| 5. Residuos | 1.519,0 | 2.742,6 | 4.133,6 | 5.095,1 | 6.106,6 | 6.515,7 | 6.957,6 |
| Balance | -10.943,1 | -362,9 | 10.975,6 | 25.116,9 | 35.458,2 | 99.505,3 | 48.320,7 |
| Total | 49.209,5 | 73.001,4 | 87.942,1 | 102.678,4 | 110.156,0 | 111.215,6 | 112.312,6 |

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Es importante indicar que el balance de GEI de 2017 escapa de la tendencia, alcanzando 99.505 kt CO₂ eq, lo que corresponde a un incremento de 181 % respecto al balance del 2016. Este incremento se debe a los grandes incendios que afectaron la zona centro y sur del país durante esa temporada, los que alcanzaron cerca de 570.000 ha de tierras forestales, cultivos y pastizales principalmente. Solo los incendios en tierras forestales de 2017 contabilizaron 57.406 kt CO₂ eq, lo que equivale a más de lo que emitieron juntos el transporte terrestre y la generación eléctrica durante el mismo año.

⁴⁴ El término «balance de GEI» o «emisiones netas» refiere a la sumatoria de las emisiones y absorciones de GEI, expresadas en dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq). Este término incluye al sector UTCUTS en su totalidad, emisiones y absorciones.

Figura 13. INGEI de Chile: balance de GEI (kt CO₂ eq) por sector

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

2.2.1. Tendencias del balance de GEI por gas

La tendencia de las emisiones y absorciones del país por cada GEI varía según se incluyan o no las fuentes y los sumideros del sector UTCUTS (Tabla 20).

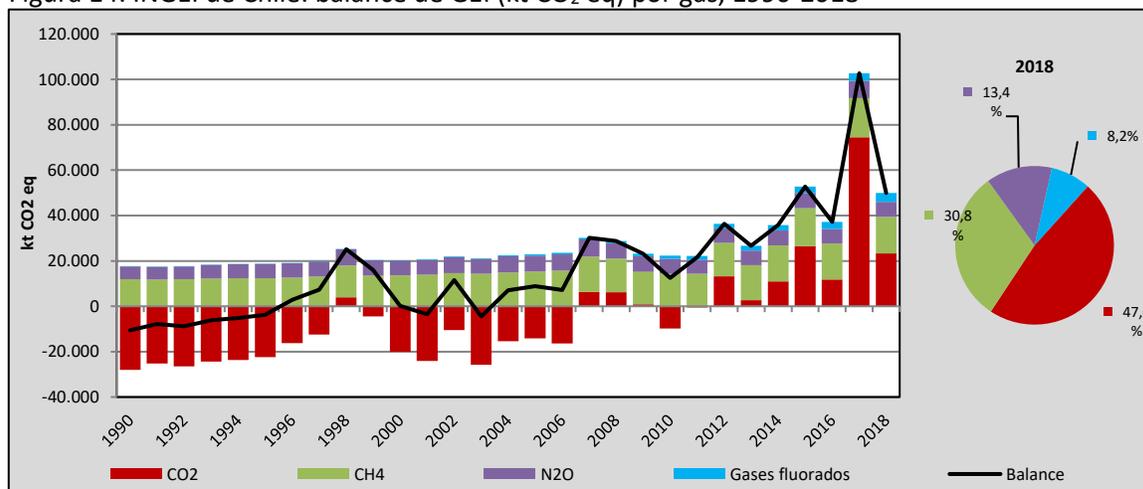
Tabla 20. INGEI de Chile: emisiones totales y balance de GEI (kt CO₂ eq) por gas

| GEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| CO ₂ (incl. UTCUTS) | -28.127,6 | -20.137,9 | -10.085,0 | 2.637,3 | 11.599,7 | 72.684,4 | 23.007,1 |
| CO ₂ (excl. UTCUTS) | 32.252,8 | 53.317,9 | 67.152,5 | 80.260,6 | 86.507,2 | 87.003,0 | 87.191,7 |
| CH ₄ (incl. UTCUTS) | 11.664,5 | 13.089,0 | 13.111,2 | 13.879,6 | 14.340,8 | 15.947,8 | 14.874,6 |
| CH ₄ (excl. UTCUTS) | 11.527,6 | 13.034,0 | 12.948,5 | 13.842,6 | 14.214,8 | 14.376,9 | 14.758,9 |
| N ₂ O (incl. UTCUTS) | 5.502,7 | 6.497,8 | 6.605,3 | 6.464,8 | 6.451,7 | 7.480,0 | 6.496,9 |
| N ₂ O (excl. UTCUTS) | 5.412,0 | 6.461,2 | 6.497,0 | 6.440,0 | 6.368,0 | 6.442,6 | 6.419,9 |
| Gases fluorados | 17,2 | 188,2 | 1.344,1 | 2.135,2 | 3.066,0 | 3.393,1 | 3.942,0 |
| HFC | 0,0 | 144,4 | 1.245,6 | 2.057,7 | 2.978,2 | 3.285,9 | 3.829,8 |
| PFC | NO | NO | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| SF ₆ | 17,1 | 43,8 | 98,3 | 77,3 | 86,8 | 106,4 | 111,4 |
| Balance | -10.943,1 | -362,9 | 10.975,6 | 25.116,9 | 35.458,2 | 99.505,3 | 48.320,7 |
| Total | 49.209,5 | 73.001,4 | 87.942,1 | 102.678,4 | 110.156,0 | 111.215,6 | 112.312,6 |

Nota: NO = No ocurre; NE = No estimado.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

En 2018, el balance de GEI de Chile estuvo dominado por el CO₂, representando un 48 %, seguido del CH₄ con un 31 %, del N₂O con un 13 % y los gases fluorados que contabilizaron colectivamente el 8 % restante (Figura 14). Es evidente que el CO₂ es el GEI que mueve la tendencia, como demuestran los picos (1998, 2002, 2007, 2012, 2015 y 2017) y los valles (2002, 2004 y 2010) de la serie temporal. El balance del CO₂ es favorable a la absorción para los primeros años de la serie (1990-1997) y para parte del periodo entre 2000 y 2002. Esto se debe a la absorción de las tierras forestales (en bosque nativo y plantaciones forestales) y al mayor uso de gas natural para la generación eléctrica en comparación con otros combustibles fósiles, como el carbón en particular, cuya emisión por unidad energética (kg CO₂/TJ) es mayor.

Figura 14. INGEI de Chile: balance de GEI (kt CO₂ eq) por gas, 1990-2018

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

2.2.1.1. Dióxido de carbono (CO₂)

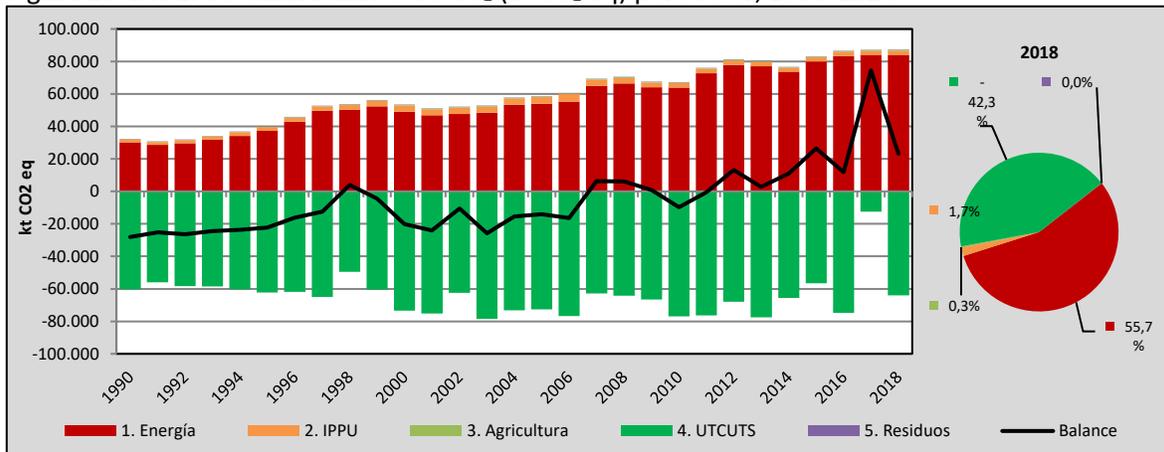
En 2018, el balance de CO₂ contabilizó 23.007 kt CO₂ eq, incrementándose en un 182 % desde 1990 y en un 145 % desde 2016 (Tabla 21 y Figura 15). En términos absolutos por sector, el sector de mayor relevancia es Energía con un 56 %, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles; lo sigue el sector UTCUTS con un -42 %, el cual actúa como sumidero de CO₂ mediante el incremento de la biomasa en bosques nativos y exóticos; el sector IPPU con un 2 %, debido a la producción de hierro y acero; el sector Agricultura con un 0,3 % debido a la quema de residuos agrícolas; y el sector Residuos, con menos de un 0,01 % asociado a la quema de residuos hospitalarios.

Tabla 21. INGEI de Chile: balance de CO₂ (kt CO₂ eq) por sector

| Sector | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------|------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1. Energía | 30.156,6 | 48.971,8 | 63.929,8 | 77.111,6 | 83.319,6 | 84.086,6 | 84.141,9 |
| 2. IPPU | 1.868,5 | 3.951,5 | 2.714,8 | 2.596,8 | 2.697,6 | 2.427,6 | 2.559,0 |
| 3. Agricultura | 203,4 | 366,5 | 470,1 | 509,3 | 445,4 | 442,9 | 440,8 |
| 4. UTCUTS | -60.380,3 | -73.455,8 | -77.237,5 | -77.623,2 | -74.907,5 | -14.318,6 | -64.184,6 |
| 5. Residuos | 24,2 | 28,1 | 37,8 | 42,9 | 44,6 | 45,9 | 50,0 |
| Balance | -28.127,6 | -20.137,9 | -10.085,0 | 2.637,3 | 11.599,7 | 72.684,4 | 23.007,1 |

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Figura 15. INGEI de Chile: balance de CO₂ (kt CO₂ eq) por sector, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

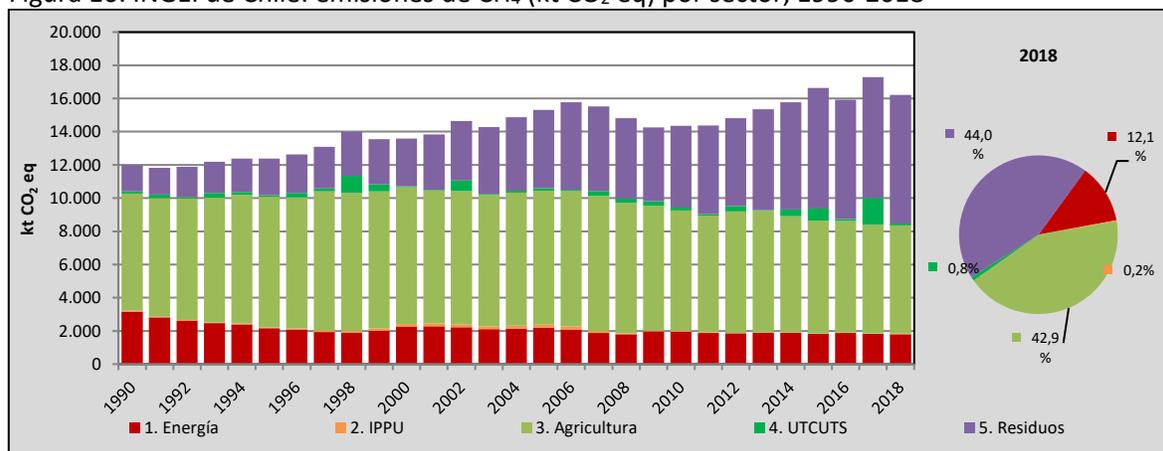
2.2.1.2. Metano (CH₄)

En 2018, las emisiones de CH₄ contabilizaron 14.875 kt CO₂ eq, incrementándose en un 28 % desde 1990 y en un 4 % desde 2016 (Tabla 22 y Figura 16). El sector de mayor relevancia respecto a las emisiones de CH₄ es Residuos con un 44 %, debido a la eliminación de residuos sólidos en sitios de disposición final; lo sigue el sector Agricultura con un 43 % debido, principalmente, a las actividades pecuarias asociadas con el proceso de fermentación entérica de los animales rumiantes; el sector Energía aporta con un 12 %, asociado al uso de leña en el sector residencial; el sector UTCUTS con un 0,8 % por los incendios forestales y el sector IPPU con un 0,2 %, generado por la producción de metanol.

Tabla 22. INGEI de Chile: emisiones de CH₄ (kt CO₂ eq) por sector

| Sector | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1. Energía | 3.161,8 | 2.240,0 | 1.948,2 | 1.897,9 | 1.873,0 | 1.812,2 | 1.796,5 |
| 2. IPPU | 54,3 | 171,0 | 57,1 | 21,0 | 22,3 | 23,4 | 34,5 |
| 3. Agricultura | 7.002,9 | 8.151,2 | 7.152,5 | 7.195,7 | 6.598,3 | 6.419,9 | 6.380,6 |
| 4. UTCUTS | 137,0 | 55,0 | 162,8 | 37,0 | 126,0 | 1.571,0 | 115,7 |
| 5. Residuos | 1.308,5 | 2.471,9 | 3.790,7 | 4.728,0 | 5.721,3 | 6.121,4 | 6.547,3 |
| Balance | 11.664,5 | 13.089,0 | 13.111,2 | 13.879,6 | 14.340,8 | 15.947,8 | 14.874,6 |

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Figura 16. INGEI de Chile: emisiones de CH₄ (kt CO₂ eq) por sector, 1990-2018

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

2.2.1.3. Óxido nitroso (N₂O)

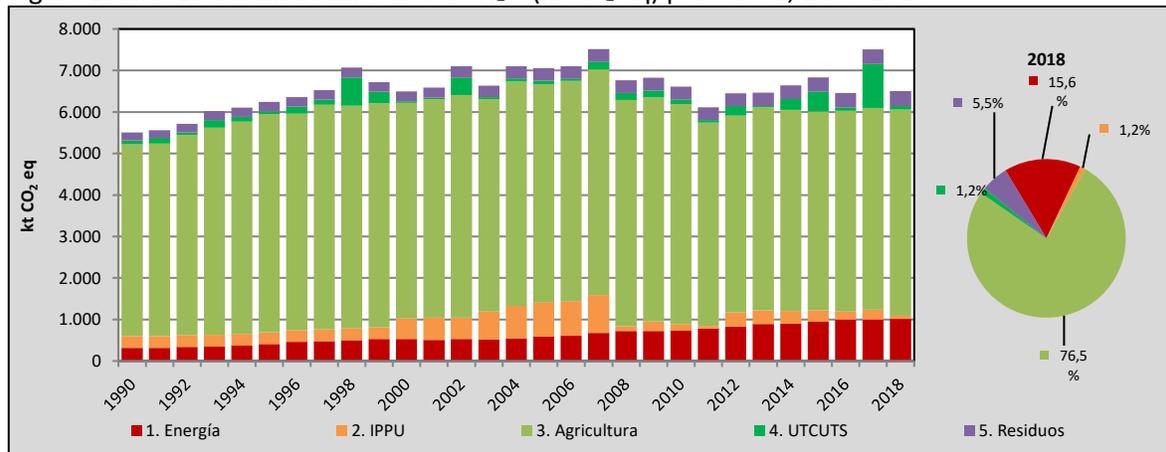
En 2018, las emisiones de N₂O contabilizaron 6.497 kt CO₂ eq, incrementándose en un 18 % desde 1990 y en un 1 % desde 2016 (Tabla 23 y Figura 17). El sector de mayor relevancia respecto a las emisiones de N₂O es Agricultura con un 77 % para el 2018, debido principalmente a las actividades pecuarias asociadas con el estiércol y orina depositados directamente en el suelo; lo sigue el sector Energía con un 16 %, asociado con el uso de automóviles; el sector Residuos con un 6 %, generado por el tratamiento de aguas servidas domiciliarias; el sector UTCUTS con un 1 % debido a las emisiones relacionadas con incendios forestales; y el sector IPPU aporta con un 1 %, debido a la producción de ácido nítrico.

Tabla 23. INGEI de Chile: emisiones de N₂O (kt CO₂ eq) por sector

| Sector | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1. Energía | 312,9 | 534,6 | 729,6 | 891,9 | 998,4 | 997,3 | 1.015,8 |
| 2. IPPU | 284,2 | 492,9 | 163,7 | 331,5 | 191,1 | 235,7 | 75,8 |
| 3. Agricultura | 4.628,4 | 5.191,2 | 5.298,6 | 4.892,4 | 4.837,6 | 4.861,2 | 4.968,1 |
| 4. UTCUTS | 90,7 | 36,6 | 108,3 | 24,8 | 83,7 | 1.037,4 | 77,0 |
| 5. Residuos | 186,4 | 242,6 | 305,1 | 324,2 | 340,8 | 348,4 | 360,3 |
| Total | 5.502,7 | 6.497,8 | 6.605,3 | 6.464,8 | 6.451,7 | 7.480,0 | 6.496,9 |

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Figura 17. INGEI de Chile: emisiones de N₂O (kt CO₂ eq) por sector, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

2.2.1.4. Gases fluorados

Las emisiones de GEI generadas por los Gases fluorados no se ven afectadas por la inclusión o exclusión de UTCUTS; por lo tanto, el análisis de la participación de los Gases fluorados en las emisiones totales de GEI (2.1.1.4) es el mismo para el balance de GEI.

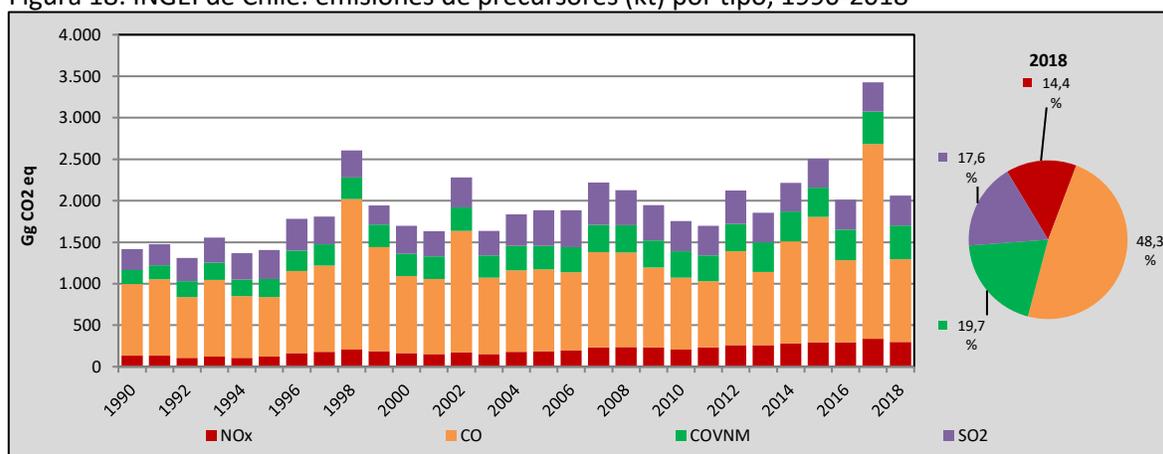
2.3. Tendencia del balance de gases precursores y carbono negro

2.3.1. Gases precursores

Hasta el momento, la estimación y reporte de los gases precursores no es competencia del SNICHILE, por lo que solo se han estimado e incluido parcialmente emisiones de CO, NO_x, COVDM y SO₂. En este sentido solo se consideraron fuentes para las que se tienen datos de actividad utilizadas para la estimación de GEI y factores de emisión por defecto.

En 2018, las emisiones de precursores, incluyendo todos los sectores del inventario, contabilizaron un total de 2.065 kt, las que estuvieron dominadas por el CO, representando un 48 %, seguido de los COVDM con un 20 %, el SO₂ con un 18 % y luego los NO_x con un 14 % (Figura 18).

Figura 18. INGEI de Chile: emisiones de precursores (kt) por tipo, 1990-2018



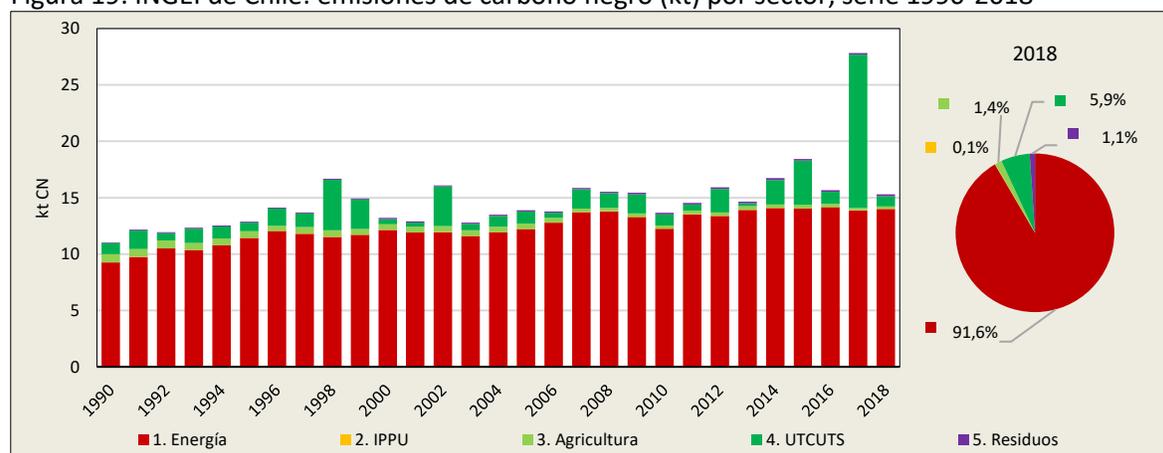
Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

2.3.2. Carbono negro

En el presente inventario, el SNICHILE estima y reporta por segunda vez las emisiones de carbono negro en el país, en esta oportunidad para la serie 1990-2018. El detalle de la tendencia de emisiones y metodología de estimación se encuentra en el ANEXO 05.

En 2018, las emisiones totales de CN alcanzaron las 15,3 kt, lo que representó un aumento del 38 % desde 1990 y una disminución del 2 % con respecto al 2016. La tendencia de la serie está dominada en casi todo el periodo por las emisiones producto de la quema de combustibles fósiles y biocombustibles, las que se contabilizan bajo el sector Energía (Figura 19). Sin embargo, en algunos años (1998, 1999, 2002, 2014, 2015 y 2017) las emisiones producto de incendios forestales, emisiones contabilizadas en el sector UTCUTS, cambian la tendencia de la serie pasando a ser parte importante de las emisiones de carbono negro a nivel nacional. Esto último queda claramente reflejado en 2017, donde las emisiones totales del país llegaron a los 27,8 kt de carbono negro y las emisiones producto de incendio forestales alcanzan un nivel similar a las emisiones del sector Energía.

Figura 19. INGEI de Chile: emisiones de carbono negro (kt) por sector, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

2.3.3. Emisiones y balance de GEI de Chile per cápita

Este indicador relaciona las emisiones de GEI del país con sus habitantes (per cápita), expresado esa relación en toneladas de CO₂ equivalente per cápita (t CO₂ eq per cápita). Para las emisiones de GEI del país se evalúa el balance de GEI y las emisiones de GEI totales.

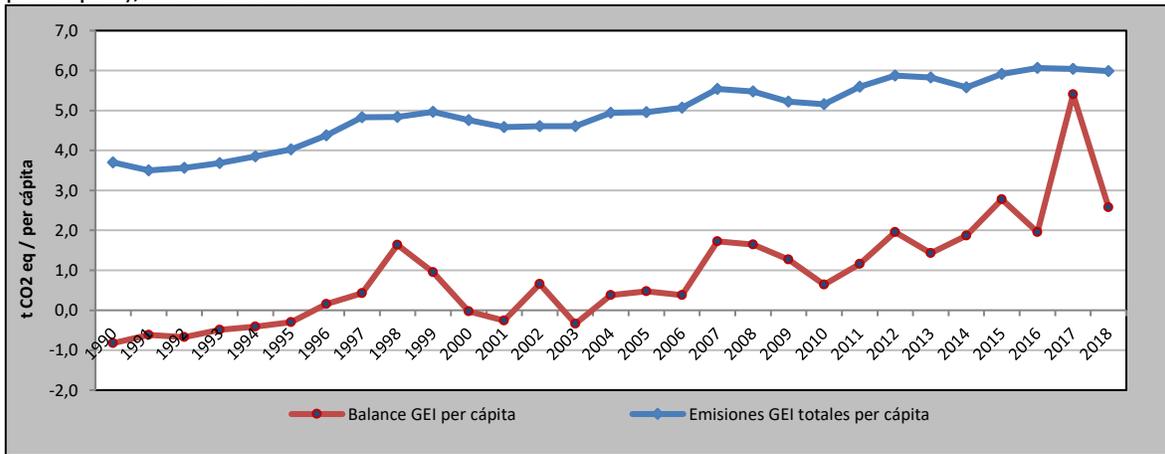
En 2018, el indicador balance de GEI per cápita fue de 2,6 t CO₂ eq per cápita, incrementándose en un 413 % desde 1990 y en un 32 % desde 2016. La variación interanual observada, con máximas en 1998 y 2017, se debe principalmente a la influencia de los incendios forestales en el balance de GEI del país. Por otro lado, el indicador emisiones de GEI totales per cápita (excluyendo el sector *UTCUTS*) fue de 6,0 t CO₂ eq per cápita, incrementándose en un 62 % desde 1990, y disminuyendo en un 1 % desde 2016; la tendencia se ve influenciada por las emisiones del sector Energía que domina las emisiones de GEI totales del país (Tabla 24 y Figura 20).

Tabla 24. INGEI de Chile: balance de GEI y emisiones de GEI totales per cápita (t CO₂ eq per cápita), serie 1990-2016

| Sector | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Balance GEI per cápita | -0,8 | -0,0 | 0,6 | 1,4 | 2,0 | 5,4 | 2,6 |
| Emisiones GEI totales per cápita | 3,7 | 4,8 | 5,2 | 5,8 | 6,1 | 6,0 | 6,0 |

Fuente: Elaboración propia del Equipo Técnico Coordinador del MMA con base en el INE.

Figura 20. INGEI de Chile: balance de GEI per cápita y emisiones de GEI totales per cápita (t CO₂ eq per cápita), serie 1990-2018



Fuente: Elaboración propia del Equipo Técnico Coordinador del MMA con base en el INE.

3. SECTOR ENERGÍA

3.1. Panorama general

3.1.1. Introducción

En la actualidad la mayor parte de la energía consumida es obtenida a través de la quema de combustibles fósiles. De acuerdo con las directrices del IPCC de 2006⁴⁵, esta actividad se define como la oxidación intencional de materiales dentro de un aparato diseñado para suministrar calor o trabajo mecánico a un proceso, o para usar fuera del aparato. Esta definición es importante para diferenciar el uso de hidrocarburos en procesos industriales para reacciones químicas.

Durante la combustión, el carbono y el hidrógeno de los combustibles fósiles se convierten en dióxido de carbono (CO₂) y en agua (H₂O), que liberan la energía química del combustible en forma de calor. Este calor es usado directamente (con cierta pérdida por conversión) para producir energía mecánica, la cual se utiliza por lo general en la generación electricidad o para algún sistema de transporte.

El sector Energía, según el IPCC, está comprendido por las siguientes temáticas:

- La exploración y explotación de las fuentes primarias de energía,
- La conversión de las fuentes primarias de energía a fuentes secundarias en refinerías y centrales eléctricas,
- La producción, transporte y distribución de combustibles,
- El uso de combustibles en aplicaciones estacionarias y móviles,
- El transporte y almacenamiento de dióxido de carbono.

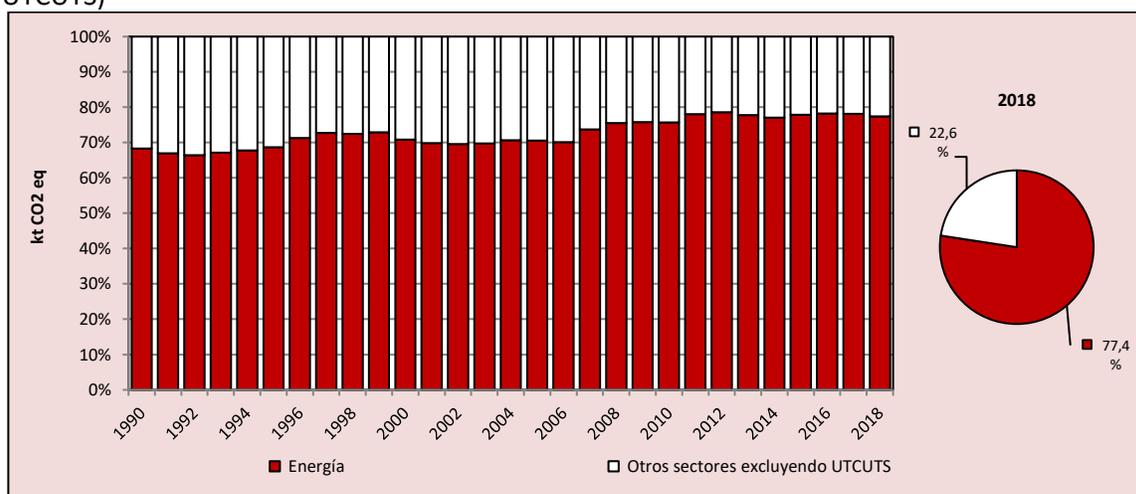
De éstas, la más importante en Chile es el uso de combustibles en aplicaciones estacionarias y móviles. Exploración y explotación de fuentes primarias no ocurre de manera muy significativa ya que la mayoría de los combustibles fósiles que se utilizan en Chile son importado; gran parte de éste es en forma de fuente primaria por lo que es necesario transformarlo. Por último, en Chile actualmente no se realiza almacenamiento ni transporte de dióxido de carbono.

3.1.2. Tendencia de las emisiones de GEI

El sector Energía es el principal sector emisor de GEI en el país, representando el 77,4 % de las emisiones de GEI totales (Figura 21) y el 49,3 % del balance de GEI del país (Figura 22) para el 2018.

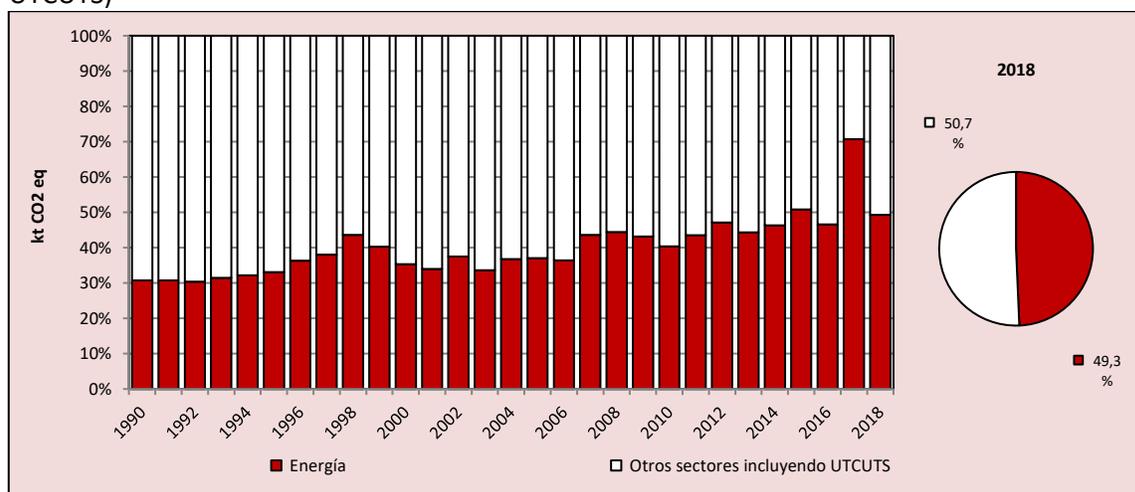
⁴⁵ Volumen 2, Capítulo 1.

Figura 21. Sector Energía: participación del sector en las emisiones de GEI totales (excluyendo UTCUTS)



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 22. Sector Energía: participación del sector en el balance de emisiones de GEI (incluyendo UTCUTS)



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

En 2018, las emisiones de GEI del sector contabilizaron 86.954 kt CO₂ eq, incrementándose en un 159% desde 1990 y en un 1% desde 2016 (Tabla 25 y Figura 23). En general, la principal causa del incremento sostenido del sector se debe al aumento del consumo energético del país, en donde destaca el consumo de carbón mineral y de gas natural para la generación eléctrica (mayor detalle en 3.2.9. *Industrias de la energía*), así como el consumo de combustibles líquidos para transporte terrestre, mayormente diésel y gasolina para motor (mayor detalle en 3.2.10. *Transporte*). En los inicios de la serie histórica, entre 1990 y 1999, se observa un crecimiento casi constante en las emisiones del sector; sin embargo, desde ese último año hasta 2006 se aprecia una disminución y luego un aumento brusco en 2007. Esto se debe a la entrada y posterior caída de la oferta de gas natural proveniente de Argentina, que fue sustituido inicialmente con diésel entre los años 2007 y 2010 dado que es su sustituto natural, dando paso posteriormente al carbón con la entrada de nuevas centrales generadoras basadas en este energético. Luego en 2008, y con mayor fuerza en 2009, se observa una disminución en las emisiones de GEI del sector, descenso que se atribuye en

forma importante a la crisis económica internacional que comenzó en 2008. El 27 de febrero de 2010 se produjo un terremoto que alcanzó una magnitud de 8,8 M_w y fue seguido de un tsunami entre las regiones Metropolitana y Biobío. Este fenómeno natural retrasó la activación de la economía del país hasta 2011 dado el alto impacto tanto a niveles urbanos como industriales. El alza de las emisiones entre 2011 y 2013 se debe en parte al incremento de generación eléctrica por un aumento en la actividad económica del país impulsado por la minería del cobre, junto con el uso de carbón para generación eléctrica. En el año 2014 se presenta una baja en emisiones debido principalmente al aumento de lluvia que hubo en esos años, en específico el 2013; dicho aumento permitió almacenar recursos hídricos para el 2014, lo cual hizo aumentar la generación hidroeléctrica para dicho año. El posterior aumento se debe al aumento de generación térmica, producto de la constante expansión de la matriz energética, así como la baja disponibilidad del recurso hídrico para la generación eléctrica. Posterior al 2016, se aprecia que las emisiones se mantienen estables, debido principalmente a una disminución en el consumo de carbón en la generación eléctrica, debido al ingreso de nuevas fuentes de energía renovable (solar, eólica, geotérmica) así como también el ingreso de nuevas plantas de gas natural; sin embargo, esta disminución no se ve reflejada finalmente en los números finales debido al constante crecimiento en el consumo de bencinas y diésel en el transporte terrestre, que ha sostenido su crecimiento al igual que en los últimos años.

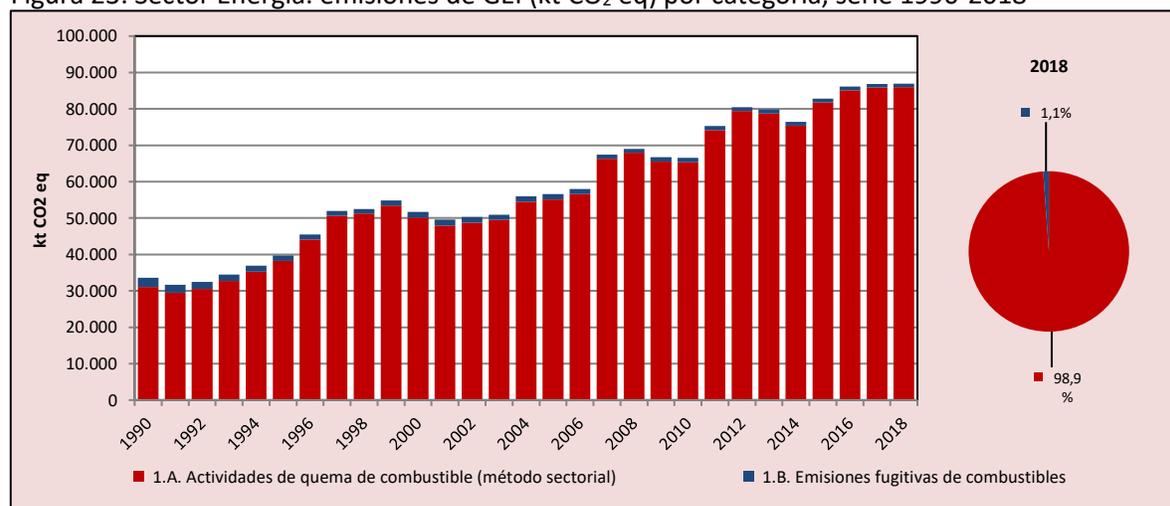
Respecto a las categorías (Figura 23), el 99 % de las emisiones de GEI del sector corresponde a la categoría *Actividades de quema de combustible* y el 1 % restante a la categoría *Emisiones fugitivas de combustibles*.

Tabla 25. Sector Energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría

| Categoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.A. Actividades de quema de combustible (método sectorial) | 31.065,5 | 50.123,5 | 65.341,1 | 78.745,9 | 85.116,0 | 85.863,5 | 85.945,3 |
| 1.B. Emisiones fugitivas de combustibles | 2.540,4 | 1.588,6 | 1.235,7 | 1.119,3 | 1.052,7 | 1.006,8 | 980,1 |
| Total | 33.605,9 | 51.712,1 | 66.576,9 | 79.865,2 | 86.168,7 | 86.870,3 | 86.925,4 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 23. Sector Energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

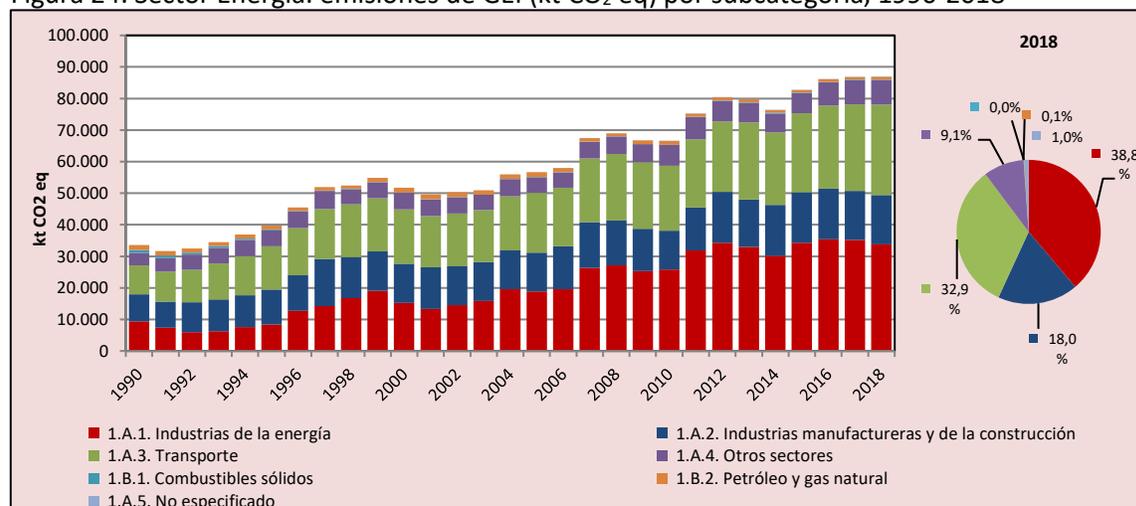
Respecto a las subcategorías (Tabla 26 y Figura 24), *Industrias de la energía* (principalmente *Generación de electricidad como actividad principal*) es la de mayor importancia dentro del sector con un 38,8 % de participación en 2018, seguida de un 32,9 % de *Transporte* (principalmente el *Transporte terrestre*), 18,0 % de *Industrias manufactureras y de la construcción* y 9,1 % de *Otros sectores* (principalmente *Residencial*); el restante 1,1% corresponde a al sector No especificado (se incluye dentro de esta actualización) y a las emisiones fugitivas de las categorías *Combustibles sólidos* y *Petróleo y gas natural*.

Tabla 26. Sector Energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.A.1. Industrias de la energía | 9.377,0 | 15.192,4 | 25.845,9 | 32.932,9 | 35.449,7 | 35.152,5 | 33.746,1 |
| 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción | 8.612,8 | 12.492,5 | 12.305,0 | 15.092,7 | 15.945,0 | 15.619,9 | 15.678,4 |
| 1.A.3. Transporte | 9.099,6 | 17.194,6 | 20.513,1 | 24.352,7 | 26.399,2 | 27.333,6 | 28.614,7 |
| 1.A.4. Otros sectores | 3.976,2 | 5.244,1 | 6.658,6 | 6.226,8 | 7.313,3 | 7.746,6 | 7.902,0 |
| 1.A.5. No especificado | - | - | 18,6 | 140,8 | 8,8 | 10,9 | 4,2 |
| 1.B.1. Combustibles sólidos | 855,5 | 131,8 | 71,0 | 163,6 | 137,2 | 114,8 | 92,8 |
| 1.B.2. Petróleo y gas natural | 1.685,0 | 1.456,7 | 1.164,7 | 955,7 | 915,5 | 891,9 | 887,3 |
| Total | 33.605,9 | 51.712,1 | 66.576,9 | 79.865,2 | 86.168,7 | 86.870,3 | 86.925,4 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 24. Sector Energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, 1990-2018



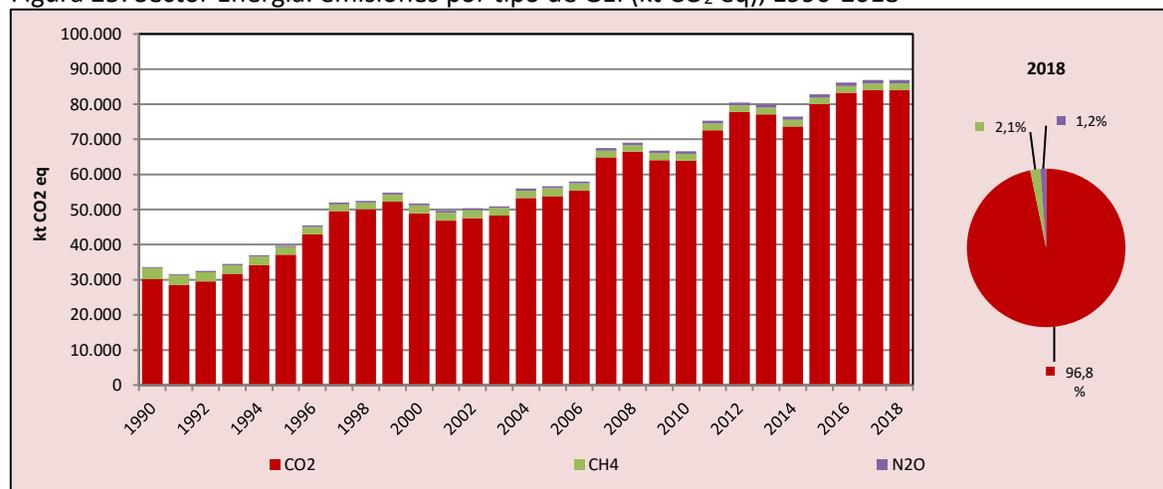
Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

En 2018, el principal GEI emitido por el sector fue el CO₂, representando un 97 % de las emisiones totales de GEI del sector. Lo sigue el CH₄ con un 2 % y el N₂O con un 1 % (Tabla 27 y Figura 25).

Tabla 27. Sector Energía: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq)

| GEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| CO ₂ | 30.131,3 | 48.937,8 | 63.899,2 | 77.075,9 | 83.284,6 | 84.054,0 | 84.107,7 |
| CH ₄ | 3.161,7 | 2.239,8 | 1.948,1 | 1.897,7 | 1.877,8 | 1.814,8 | 1.798,6 |
| N ₂ O | 312,9 | 534,5 | 729,6 | 891,6 | 1.006,3 | 1.001,5 | 1.019,2 |
| Total | 33.605,9 | 51.712,1 | 66.576,9 | 79.865,2 | 86.168,7 | 86.870,3 | 86.925,4 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 25. Sector Energía: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), 1990-2018

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.1.3. Tendencia del consumo de energéticos en el país

El consumo bruto de energía primaria en Chile está compuesto principalmente por combustibles de origen fósil. En 2018, el petróleo crudo representó un 29 %, seguido por la leña y biomasa con un 25 %, carbón con el 23 %, gas natural el 15 % y el restante 9 % a otras energías renovables incluyendo hidroeléctrica, eólica, solar, geotermia y biogás (Tabla 28 y Figura 26). El petróleo crudo ha sido parte importante del consumo nacional a lo largo de la serie histórica debido principalmente al consumo en transporte terrestre de sus derivados, tanto en vehículos livianos como de carga. Por otra parte, el gas natural presenta grandes variaciones a lo largo de la serie, dado principalmente a que entre el 2000 y 2006 aumenta su participación por el ingreso de gas proveniente desde Argentina para ser utilizado en generación eléctrica y a nivel residencial, pero en 2007 decae drásticamente a causa del corte de suministro de parte de este país. El carbón aumenta su participación a partir del 2010 como energético sustituto del gas natural para la generación eléctrica con la entrada de las nuevas centrales. Para el 2014 existe una clara disminución del consumo de energéticos primarios, principalmente de gas natural y carbón para la generación eléctrica, debido al aumento de generación hídrica por las buenas condiciones hidrológicas en 2013 y 2014. Respecto a los últimos años incorporados para esta serie, se destaca el incremento de la energía eólica y solar ya que, a pesar de tener una baja participación en la matriz, tuvieron un aumento considerable entre 2016 y 2018, incrementándose en conjunto en un 73 %, alcanzando así los 31.685 TJ. Cabe destacar la incorporación de la Geotermia a partir del año 2017, dada la entrada de la única central geotérmica que existe en Chile.

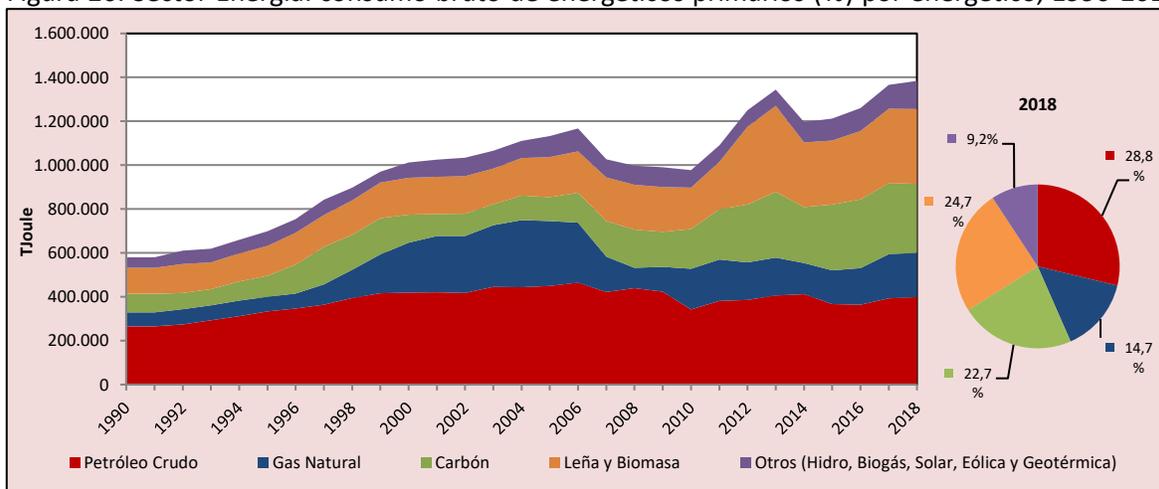
Tabla 28. Sector Energía: consumo bruto de energéticos primarios (TJ) por energético, 1990-2018

| Energético | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Petróleo Crudo | 265.750,0 | 418.778,8 | 342.283,2 | 406.188,2 | 364.406,9 | 392.238,9 | 398.081,0 |
| Gas Natural | 63.036,9 | 227.255,3 | 185.966,9 | 172.126,5 | 166.306,1 | 201.990,3 | 202.784,4 |
| Carbón | 85.109,7 | 127.783,9 | 180.101,2 | 300.271,8 | 313.221,1 | 324.136,1 | 313.763,5 |
| Hidroelectricidad | 47.269,0 | 68.705,4 | 78.334,1 | 71.063,7 | 83.147,3 | 76.735,1 | 84.079,2 |
| Eólica | - | - | 1.171,2 | 1.997,3 | 8.813,9 | 13.045,6 | 12.910,1 |
| Leña y Biomasa | 118.333,4 | 169.217,1 | 188.903,8 | 391.605,8 | 311.549,5 | 338.175,6 | 341.351,3 |
| Solar | - | - | - | 799,2 | 9.486,1 | 14.086,1 | 18.774,8 |
| Biogás | 715,9 | 192,2 | 325,7 | 503,1 | 2.754,3 | 3.863,5 | 4.495,1 |

| Energético | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Geotermia | - | - | - | - | - | 2.295,7 | 7.703,8 |
| Total | 580.214,9 | 1.011.932,6 | 977.086,1 | 1.344.555,6 | 1.259.685,0 | 1.366.566,8 | 1.383.943,4 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 26. Sector Energía: consumo bruto de energéticos primarios (TJ) por energético, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

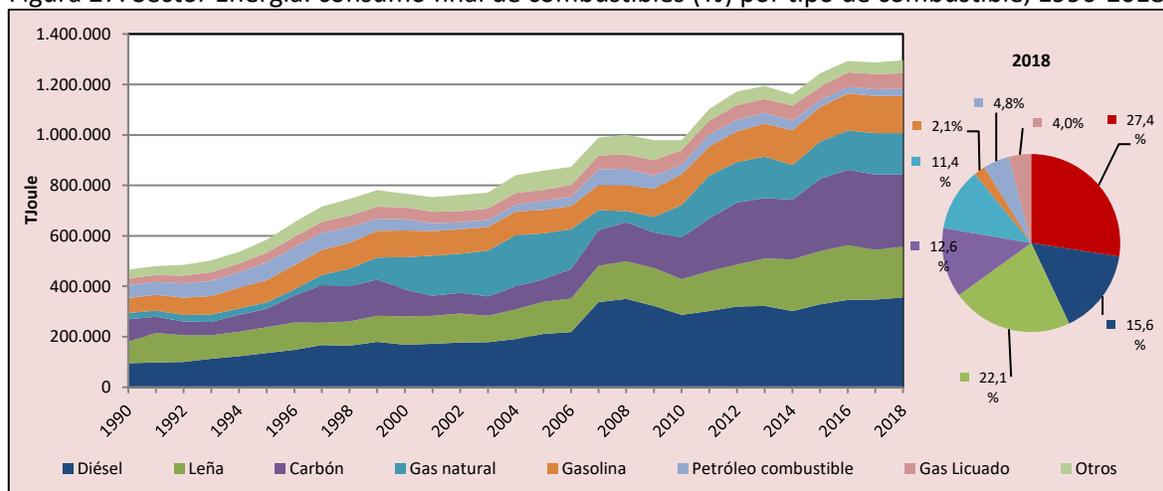
En términos de los combustibles, los más utilizados en el consumo final, para el 2018 fueron el diésel con un 27 %, la leña con 22 %, carbón con 21 %, gas natural con 11 %, gasolina para motor con 10 %; gas licuado de petróleo con 4 %, petróleo combustible con 2 %; y un 4 % de otros tipos de combustible que incluye: gasolina para aviación, jet querosene, coque, querosene doméstico, nafta, alquitrán, gas de refinería, metanol, gas de fábrica de gas o gas corriente, gas de altos hornos y biogás (Tabla 29 y Figura 27).

Tabla 29. Sector Energía: consumo final de combustibles (TJ) por tipo de combustible, serie 1990-2018

| Combustible | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Diésel | 95.423,3 | 168.040,9 | 287.247,5 | 321.900,4 | 346.223,8 | 347.364,7 | 355.403,6 |
| Leña | 85.522,4 | 112.583,0 | 141.339,9 | 187.735,7 | 217.423,7 | 196.771,8 | 201.643,9 |
| Carbón | 88.255,9 | 107.499,7 | 165.331,9 | 240.150,3 | 298.418,4 | 299.146,0 | 286.010,9 |
| Gas natural | 24.785,7 | 127.201,6 | 128.031,5 | 163.880,3 | 155.361,4 | 163.784,6 | 163.842,8 |
| Gasolina para motor | 60.477,4 | 105.669,9 | 122.782,4 | 131.112,8 | 146.649,5 | 147.654,3 | 147.791,3 |
| Petróleo combustible | 51.171,8 | 44.704,1 | 38.030,0 | 42.870,8 | 26.449,4 | 26.225,2 | 27.180,4 |
| Gas Licuado | 25.762,6 | 47.387,9 | 57.174,2 | 54.056,9 | 57.404,3 | 60.267,3 | 61.752,7 |
| Jet querosene | 7.614,4 | 9.252,9 | 11.106,3 | 16.423,6 | 19.669,1 | 20.805,4 | 27.322,4 |
| Coque | 7.056,0 | 14.653,0 | 16.936,1 | 22.455,6 | 15.898,7 | 14.197,2 | 15.042,3 |
| Otros | 20.033,0 | 30.674,8 | 11.800,2 | 13.025,3 | 9.493,9 | 10.536,9 | 9.927,1 |
| Total | 466.102,6 | 767.667,8 | 979.779,9 | 1.193.611,6 | 1.292.992,3 | 1.286.753,3 | 1.295.917,4 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 27. Sector Energía: consumo final de combustibles (TJ) por tipo de combustible, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.1.4. Aspectos metodológicos generales del sector

Para ambas categorías consideradas en el sector, *Actividades de quema de combustibles* y *Emisiones fugitivas de combustibles* se utilizaron las metodologías propuestas por las *Directrices del IPCC de 2006*. Se aplicó el método Nivel 1 para prácticamente todas las estimaciones, a excepción del componente *Manufactura de combustibles sólidos* (en donde se estimó con nivel 2 las emisiones de CO₂ para el coque metalúrgico) y el componente *Transporte terrestre* (en el cual se aplicó el método Nivel 2 para los gases no CO₂), con factores de emisión por defecto en ambos casos. Adicionalmente para *Actividades de quema de combustibles* se aplicó el *Método de referencia* como verificación del *Método sectorial*. En la Tabla 30 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 30. Sector Energía: métodos aplicados por categoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 1. Energía | T1, T2, IE, NA, NE, NO | D, IE, NA, NE, NO | T1, T2, IE, NA, NE, NO | D, IE, NA, NE, NO | T1, T2, IE, NA, NE | D, IE, NA, NE |
| 1.A. Actividades de quema de combustible (método sectorial) | T1, T2, IE, NE, NO | D, IE, NE, NO | T1, T2, IE, NE, NO | D, IE, NE, NO | T1, T2, IE, NE, NO | D, IE, NE, NO |
| 1.B. Emisiones fugitivas de combustibles | T1, NA, NE, NO | D, NA, NE, NO | T1, NA, NE, NO | D, NA, NE, NO | NA, NE, NO | NA, NE, NO |
| 1.C. Transporte y almacenamiento de CO ₂ | NO | NO | NO | NO | NO | NO |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

A diferencia de la actualización pasada, el cálculo de las emisiones para este sector se realizó en su totalidad mediante planillas de cálculo Excel.

3.1.5. Datos de actividad del sector

En el sector Energía los datos de actividad son en su mayoría las cantidades de combustible quemado o procesado, lo que es suficiente para una estimación de las emisiones de GEI aplicando

un método Nivel 1. Este tipo de información suele ser recopilada, analizada y publicada bajo el nombre de estadísticas de energía o balances de energía. En el caso de Chile estos datos son recopilados en el Balance Nacional de Energía, el que se describe a continuación.

3.1.5.1. Balance Nacional de Energía

El Balance Nacional de Energía (BNE) es un producto estadístico de recopilación de flujos de energía que tiene por objeto contabilizar la oferta total de energía disponible en el país en un año calendario, y cuantificar cómo esta oferta fue consumida por los principales sectores de la economía nacional. El BNE en Chile se elabora desde 1960, inicialmente a cargo de la Comisión Nacional de Energía (CNE), pasando en el 2010 a ser responsabilidad de la División de Prospectiva y Análisis de Impacto Regulatorio del Ministerio de Energía de Chile. Actualmente se puede encontrar en el portal *Energía Abierta* de la CNE la serie histórica desde 1991 a la fecha⁴⁶.

Para poder obtener el BNE, es necesario realizar una encuesta anual a empresas de diferentes sectores económicos del país (enfocado especialmente en empresas del sector energético como generadoras, transmisoras, distribuidoras y grandes consumidores de energía). Esta encuesta es de carácter obligatorio para todas las empresas de energía, y voluntario para las que no, y a pesar de esto último se logran altos niveles de respuesta (cercanos al 80%). Sin embargo, los resultados siempre son comparados con otras fuentes de información oficiales para evitar errores o falta de información. Con esto se realiza un balance por cada energético entre la oferta y la demanda de cada sector contenido en el BNE, lo que permite a la vez la ejecución de un proceso adicional de control de calidad de la información.

Con el transcurso de los años se han ido incorporando diversas mejoras metodológicas conforme a la disponibilidad de información y a los estándares de la Agencia Internacional de Energía (AIE), entre las que destacan:

- En el BNE correspondiente al 2004 se desagregan los consumos de los centros de transformación, obteniéndose así los consumos propios de las empresas que componen el sector energético.
- Desde el 2009 se publica el BNE de acuerdo con el formato recomendado por la AIE.
- Desde el BNE 2014 se presentan los consumos de energía a nivel regional.
- Cambio en la metodología de estimación del consumo residencial de leña y derivados de biomasa, aplicado desde la edición BNE 2014⁴⁷.
- Corrección retrospectiva (desde BNE 2010 hasta BNE 2013) a la estadística de demanda de biomasa de parte de los sectores comercial, público y residencial.
- Reasignación de consumos de transporte de metro subterráneo desde la categoría de transporte terrestre a transporte ferroviario para los BNE desde 2010 en adelante.
- Corrección de los consumos en refinería para los BNE desde el 2010 al 2013, de acuerdo con recomendaciones por parte de AIE.

⁴⁶ <http://energiaabierta.cne.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>

⁴⁷ Hasta la edición de BNE 2013, el consumo residencial de biomasa fue estimado en forma teórica utilizando una metodología 'bottom-up' en base a las necesidades energéticas de una vivienda modelo. Desde la edición de BNE 2014 se utiliza un software de proyección de demanda energética cuyo insumo proviene de una encuesta nacional de consumo de leña en hogares, disminuyendo así el error de estimación, la utilización de supuestos, y abarcando de manera directa a todo el territorio nacional.

- Corrección de los consumos en centros de transformación para los BNE desde el 2010 al 2013, de acuerdo con las recomendaciones por parte de AIE.

Junto con implementar todas estas mejoras metodológicas, es necesario realizar arreglos estadísticos a toda la serie de datos con el fin de no perder la coherencia temporal en la estimación de emisiones, acorde a lineamientos entregados por el IPCC.

Además, durante 2016 se desarrolló una nueva plataforma web mediante la cual se realiza la encuesta de obtención de datos a las distintas empresas que participan, con el fin de obtener un mayor detalle de los usos que ocurren en los diferentes sectores, así como también lograr desglosar de mejor manera los subsectores económicos al interior del BNE. Esto permitió, en el año 2017, incorporar los subsectores de Construcción y Agricultura (derivados del subsector Industrias Varias) y Aguas Sanitarias (derivado del sector Comercial). Si bien aún no se han incorporado dentro del inventario, debido a la poca cantidad de datos presentes en la serie, se espera dentro de los próximos procesos poder incluirlos para desglosar de mejor manera los consumos en industrias no especificadas.

El BNE divide los consumos de cada energético en cinco grandes sectores, los que su la vez se dividen en subsectores:

- Centros de transformación.
- Sector energético.
- Transporte.
- Industrial y minero.
- Comercial, público y residencial.

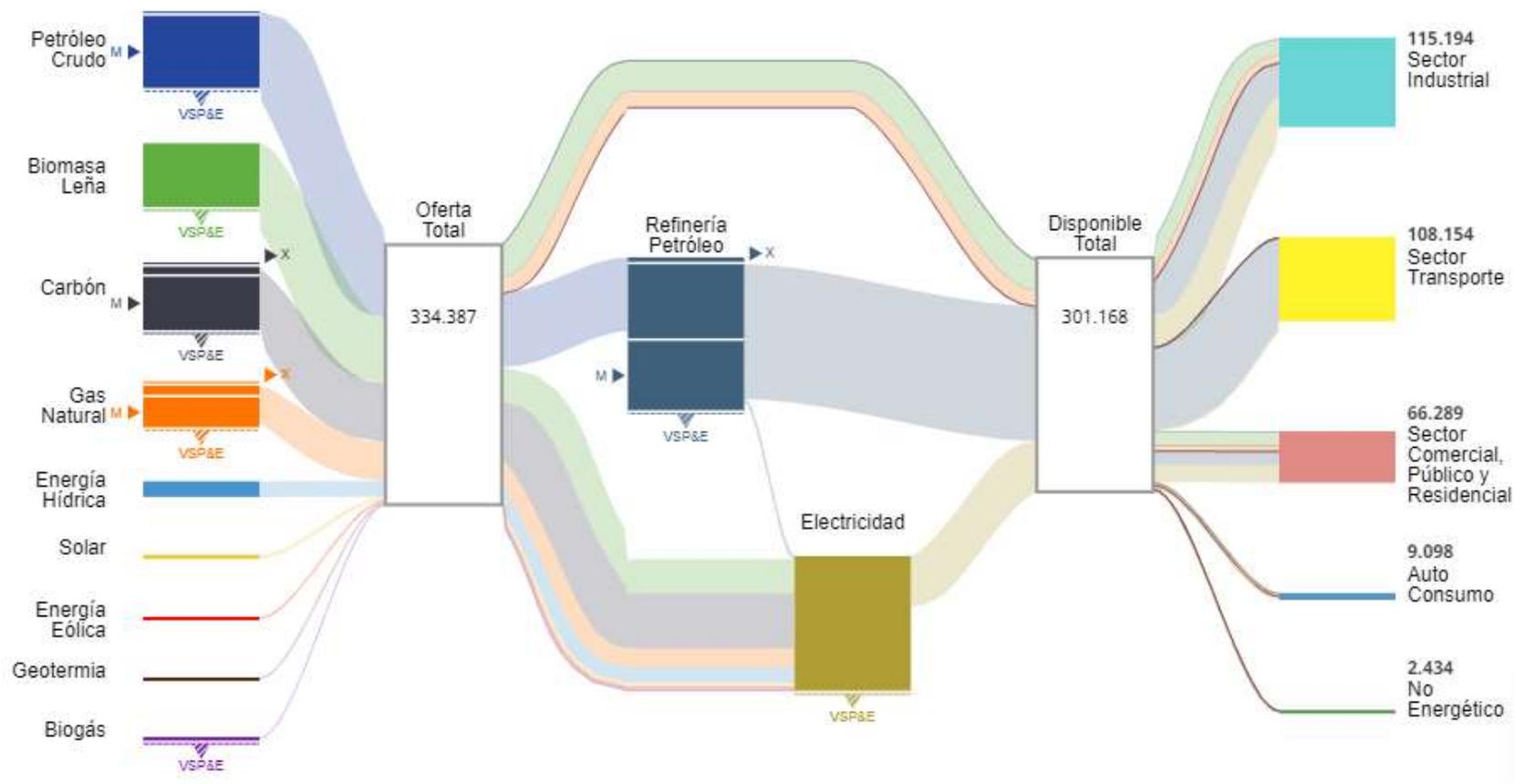
La desagregación de los sectores en subsectores se realiza principalmente con base en los consumos reportados por las empresas de distintos rubros; sin embargo, no se encuesta una muestra significativa de cada rubro por lo que es posible desagregar solo los sectores que sí cumplen con este criterio. A modo de ejemplo, el sector industrial y minero se desagrega en las subcategorías Cobre, Salitre, Hierro, Papel y Celulosa, Siderurgia, Petroquímica, Cemento, Azúcar, Pesca, Industrias varias y Minas varias.

En general la forma en que está construido el BNE permite en muchos casos usarlo de manera directa como datos de actividad para la estimación de las emisiones. Sin embargo, para algunos subsectores del inventario se deben hacer supuestos como, por ejemplo, que el componente de las emisiones *Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco* está compuesto por solo las emisiones del sector Azúcar del BNE. La equivalencia para cada componente se encuentra en las descripciones de subcategorías.

Con respecto a la incertidumbre asociada al BNE, en su construcción se estudia la diferencia estadística para detectar errores en los datos, sin embargo, no siempre se han seguido los mismos criterios. Desde el 2009 el BNE sigue el formato de la AIE en el que se estipula que la diferencia estadística para combustibles relevantes como el gas natural y el carbón deben ser menores al 1 %, mientras que para otros menos relevantes resulta ser de hasta un 5 %. Es posible hacer un análisis estadístico de las diferencias estadísticas para la serie histórica por combustible, pero dada la falta de recursos, por el momento no se ha realizado. Esto se agrega al plan de mejora continua como punto de mejora del BNE.

En la Figura 28 se observa el diagrama de flujos de energía de Chile elaborado a partir del BNE para el año 2018 (Ministerio de Energía, Todos los años disponibles), donde se aprecia el panorama general de la oferta, la transformación y el consumo de energía en Chile. Se destaca que el principal energético utilizado para la generación eléctrica en el país es el carbón, energético del cual se depende muy fuertemente de proveedores internacionales (en 2018 se importó un 92 % de su oferta); a la vez, el principal sector consumidor de electricidad es la minería con un 34 %. Por otro lado, los derivados del petróleo representan un 58 % del consumo final en el 2018 dado su elevado uso en el sector transporte, en particular en el transporte terrestre, pero también se presentan consumos en otros sectores dada su versatilidad (industrial, minero, comercial y residencial); en Chile, los derivados del petróleo se obtienen principalmente a partir de la refinación del petróleo crudo, realizado por la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP). A su vez, el petróleo crudo es importado casi en su totalidad (98%). El gas natural representa el 6 % del consumo final y se importa un 79 %, siendo utilizado principalmente para la generación eléctrica y para el sector residencial. Adicionalmente es posible apreciar en la Figura 28, la eficiencia de los procesos de transformación a través del grosor de las líneas; de esta forma, se puede determinar que para la generación eléctrica, la eficiencia neta del proceso es del 37 %.

Figura 28. Balance Nacional de Energía: diagrama de flujo de los energéticos de Chile en Teracalorías, 2018.



Fuente: <http://energiaabierta.cne.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>

3.1.5.2. Conversión y manejo de datos de actividad

El BNE solicita la información en unidades físicas de los diferentes energéticos evaluados, y se publica en unidades energéticas -Teracalorías (Tcal)- como unidad estándar. Para la transformación de unidades físicas a energéticas se utilizan los poderes caloríficos superiores (PCS) y densidades estándares y se han utilizado los mismos en toda la serie histórica. Estos se encuentran publicados en el Anexo 06.01. Para facilitar el manejo de datos en la construcción del inventario de emisiones, todos los consumos energéticos por cada energético del BNE se convirtieron de Tcal a Terajoules (TJ), junto con además pasar de PCS a poder calorífico inferior (PCI). Para esto se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Transformación de PCS a PCI y de Tcal a TJ

$$TJ_i = Tcal_i \times \text{Factor PCI}_i \times \text{Factor de conversión} \frac{TJ}{Tcal}$$

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en las *Directrices del IPCC de 2006* (página 1.17; Capítulo 1; Volumen 2 y Anexo 8A.1, Volumen 1).

Donde:

- **TJ_i**= consumo del combustible *i* expresado en TJ.
- **Tcal_i**= consumo del combustible *i* expresado en Tcal.
- **Factor PCI_i**= factor que convierte el PCS en PCI_i para el combustible *i* (Tabla 31)
- **Factor de conversión TJ/Tcal**= 4,1868 (Anexo 8A.1, Vol. 1, *Directrices del IPCC de 2006*).

El factor PCI se obtiene de una recomendación de las *Directrices del IPCC de 2006* (página 1.17; Capítulo 1; Volumen 2) que dice “para el carbón y el petróleo, el VCN (valor calorífico neto equivalente a PCI) es alrededor de un 5 por ciento menor que el VCB (valor calorífico bruto equivalente a PCS). Para la mayoría de las formas de gas natural y manufacturado, el VCN es alrededor de 10 por ciento menor”. A partir de esto se elaboró la Tabla 31.

Tabla 31. Factores de conversión de a poder calorífico superior

| Combustible | Factor PCI |
|--|------------|
| Otro Biogás | 0,90 |
| Madera/Desechos de madera | 0,95 |
| Gas Natural | 0,90 |
| Petróleo Crudo | 0,95 |
| Alquitrán | 0,95 |
| Gas/Diésel oíl | 0,95 |
| Gasolina para motor | 0,95 |
| Gases licuados de petróleo | 0,90 |
| Gas de Refinería | 0,95 |
| Gasolina para la aviación | 0,95 |
| Otro queroseno | 0,95 |
| Queroseno para motor a reacción | 0,95 |
| Otros productos del petróleo (Metanol) | 0,95 |
| Nafta | 0,95 |
| Fuelóleo residual | 0,95 |
| Otro Carbón sub-bituminoso | 0,95 |
| Coque para horno de coque y Coque de lignito | 0,95 |
| Gas Alto Horno | 0,90 |
| Gas de fábrica de gas | 0,90 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en las *Directrices del IPCC de 2006* (página 1.17; Capítulo 1; Volumen 2).

En la Tabla 32 se presentan los Factores de emisión y poderes caloríficos inferiores de todos los energéticos utilizados y consultados en la encuesta del BNE habiendo hecho el procedimiento previo.

Tabla 32. Energéticos incluidos dentro de la encuesta BNE y sus datos paramétricos.

| Combustible | Factor de Emisión de CO ₂ | Poder Calorífico Inferior |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| | kg / TJ | TJ/Gg |
| Diésel | 74.100 | 43,35 |
| Gasolina 93 | 69.300 | 44,55 |
| Gasolina 95 | 69.300 | 44,55 |
| Gasolina 97 | 69.300 | 44,55 |
| Gasolina aviación | 70.000 | 45,34 |
| Nafta | 73.300 | 45,74 |
| Biodiesel | 70.800 | 43,35 |
| Bioetanol | 79.600 | 29,83 |
| Biogás | 54.600 | 26,38 |
| Leña | 112.000 | 13,92 |
| Pellet | 112.000 | 13,92 |
| Carbón vegetal | 112.000 | 13,92 |
| Briqueta de biomasa | 112.000 | 13,92 |
| Licor negro | 95.300 | 13,92 |
| Otros derivados de biomasa | 100.000 | 13,92 |
| Antracita | 98.300 | 39,30 |
| Otros productos de carbón | 94.600 | 27,84 |
| Carbón térmico bituminoso | 94.600 | 27,84 |
| Carbón térmico bituminoso metalúrgico | 94.600 | 27,84 |
| Carbón térmico sub bituminoso | 94.600 | 27,84 |
| Coque metalúrgico | 107.000 | 27,84 |
| Gas coque | 107.000 | 17,14 |
| Alquitrán | 80.700 | 41,37 |
| Electricidad | - | - |
| Gas licuado de petróleo | 63.100 | 45,59 |
| Gas natural | 56.100 | 46,31 |
| Gas de refinería | 57.600 | 29,21 |
| Gas corriente | 44.400 | 17,33 |
| Gas altos hornos | 260.000 | 27,13 |
| Querosene | 71.900 | 44,15 |
| Jet querosene | 71.500 | 44,15 |
| Coque de petróleo | 97.500 | 32,22 |
| Otros derivados del petróleo | 73.300 | 32,60 |
| Petróleo crudo | 73.300 | 43,60 |
| Petróleo combustible 5 | 77.400 | 41,76 |
| Petróleo combustible 6 | 77.400 | 41,76 |
| IFOS | 77.400 | 41,76 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA, con base en el cuadro 2.2 del Volumen 2 capítulo 2 de las directrices IPCC de 2006.

3.2. Actividades de quema de combustible (1.A.)

3.2.1. Descripción de la categoría

La categoría *Actividades de quema de combustible* agrupa a las emisiones de la oxidación intencional dentro de un aparato diseñado para calentar o proporcionar calor a un proceso como calor o trabajo mecánico, o bien para aplicaciones fuera del aparato.

La categoría incluye las siguientes subcategorías:

- 1.A.1. *Industrias de la energía.*
- 1.A.2. *Industrias manufactureras y de la construcción.*
- 1.A.3. *Transporte.*
- 1.A.4. *Otros sectores.*
- 1.A.5. *No especificado.*

En el contexto nacional, esta categoría incluye las emisiones producidas para la generación de energía y la producción de combustible. De acuerdo con el BNE, la quema de combustible en Chile se divide en cuatro sectores:

- Sistema energético (Centros de transformación y Sector energético).
- Transporte.
- Industrias y minería.
- Comercial, público y residencial.

Adicionalmente se llevan a cabo dos verificaciones para tener un control de la calidad y manejo sobre los resultados. Primero, con el método de referencia que utiliza los datos del BNE con una metodología *top-down*, y segundo una verificación con las emisiones de energía publicadas por la AIE.

Por otra parte, en esta categoría se reportan y exponen las metodologías para la estimación de partidas informativas: Navegación y Aviación internacional y emisiones CO₂ de biomasa. Además, se expone la situación sobre consumo no energético de combustibles.

3.2.2. Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Actividades de quema de combustible* es la principal categoría emisora del sector Energía, representando el 98,9 % de las emisiones de GEI del sector. En 2018, las emisiones de GEI de la categoría contabilizaron 85.945,3 kt CO₂ eq. Desde 1990, las emisiones de GEI se han incrementado en un 176,7 % y desde 2016 en un 1,0 % (Tabla 33 y Figura 29), debido principalmente al aumento sostenido de generación eléctrica a partir de carbón y del aumento en el uso de combustibles líquidos (diésel y gasolinas) en el transporte terrestre. Se observa que entre 1999-2006 hay una disminución y luego un aumento brusco en 2007. Esto se debe a la entrada y posterior caída de la oferta de gas natural proveniente desde Argentina, que en un principio fue sustituida por diésel dado que muchas plantas a gas podían operar con diésel. A partir de 2010, comienza el ingreso del carbón con la entrada de nuevas centrales basadas en este energético dado su bajo precio respecto tanto al diésel como del gas natural. En 2009 y 2010 se observa una disminución que se explica por la crisis económica internacional que comenzó en el 2008 junto con el terremoto

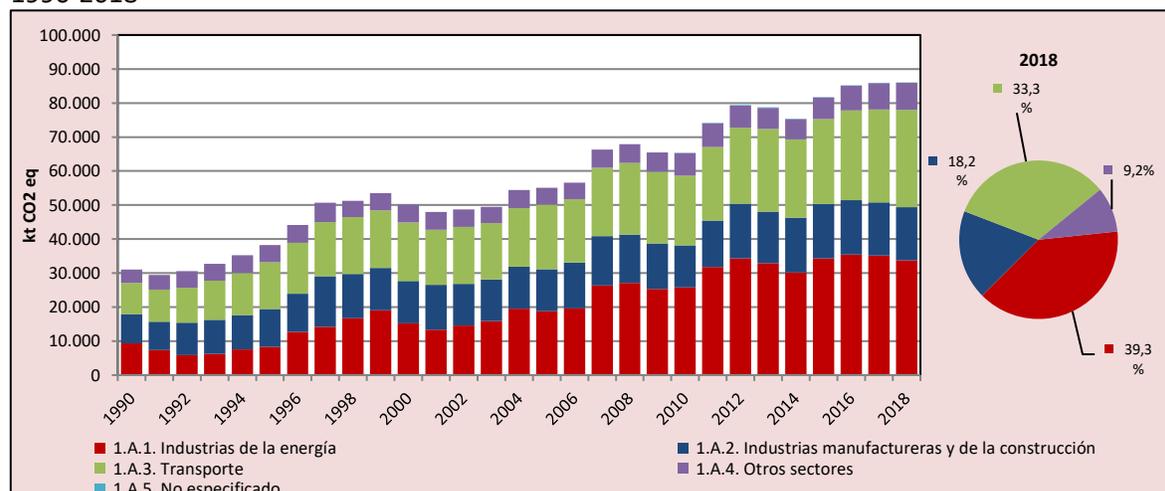
de 8,8_{MW} que afectó a Chile el 2010. La baja del 2014 se debe principalmente a un incremento en la generación eléctrica hídrica, la cual reemplaza la generación a carbón durante ese año. Respecto a al 2017 y 2018, la tendencia se estabiliza, debido a la conjunción entre el decrecimiento de la generación termoeléctrica por el menor uso de carbón y el aumento del sector transporte, en específico por el incremento en la cantidad de vehículos livianos debido a factores como el crecimiento general del poder adquisitivo de la población.

Tabla 33. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1.A.1. Industrias de la energía | 9.377,0 | 15.192,4 | 25.845,9 | 32.932,9 | 35.449,7 | 35.152,5 | 33.746,1 |
| 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción | 8.612,8 | 12.492,5 | 12.305,0 | 15.092,7 | 15.945,0 | 15.619,9 | 15.678,4 |
| 1.A.3. Transporte | 9.099,6 | 17.194,6 | 20.513,1 | 24.352,7 | 26.399,2 | 27.333,6 | 28.614,7 |
| 1.A.4. Otros sectores | 3.976,2 | 5.244,1 | 6.658,6 | 6.226,8 | 7.313,3 | 7.746,6 | 7.902,0 |
| 1.A.5. No especificado | - | - | 18,6 | 140,8 | 8,8 | 10,9 | 4,2 |
| Total | 31.065,5 | 50.123,5 | 65.341,1 | 78.745,9 | 85.116,0 | 85.863,5 | 85.945,3 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA.

Figura 29. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Segregando las emisiones del sector por tipo de combustible, se encuentra que los *combustibles líquidos* son los de mayor relevancia con un 54,1 %, seguido de 33,7 % de *combustibles sólidos*, 11,2 % de *combustibles gaseosos* y un 1,0 % de *biomasa* (Tabla 34 y Figura 30).

Respecto a la no consideración de las emisiones de CO₂, las *Directrices del IPCC del 2006* indican⁴⁸ lo siguiente: “Nótese que las emisiones de CO₂ de los combustibles de biomasa no se incluyen en el total nacional, pero se declaran como elemento informativo. Las emisiones o absorciones netas de CO₂ se estiman en el sector AFOLU y toman en cuenta estas emisiones. Obsérvese que se considera la turba un combustible fósil y no un biocombustible y, por lo tanto, las emisiones procedentes de la combustión se incluyen en el total nacional.”. Por tanto, no se consideran las emisiones CO₂ para la biomasa en el sector de Energía, las cuales se asignan al sector UTCUTS

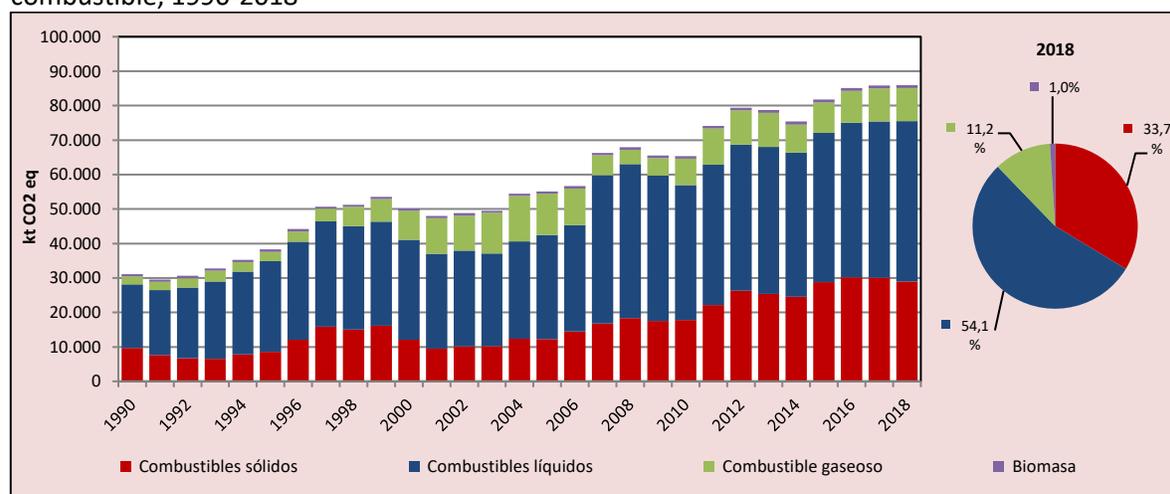
⁴⁸ Volumen 2, capítulo 1, página 21.

Tabla 34. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tipo de combustible

| Tipo de combustible | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Combustibles sólidos | 9.642,5 | 12.107,5 | 17.787,7 | 25.396,2 | 30.188,8 | 30.086,0 | 28.936,2 |
| Combustibles líquidos | 18.500,0 | 28.939,1 | 39.134,7 | 42.611,3 | 44.818,7 | 45.260,9 | 46.502,1 |
| Combustible gaseoso | 2.287,5 | 8.433,7 | 7.701,1 | 9.908,8 | 9.216,6 | 9.666,5 | 9.639,1 |
| Biomasa | 635,5 | 643,2 | 717,6 | 829,5 | 891,9 | 850,2 | 867,9 |
| Total | 31.065,5 | 50.123,5 | 65.341,1 | 78.745,9 | 85.116,0 | 85.863,5 | 85.945,3 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 30. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tipo de combustible, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría *Actividades de Quema de combustible* se aplicó el método Nivel 1 con excepción de los componentes *Manufactura de combustibles sólidos* y *Transporte terrestre* en que se aplicó el método Nivel 2 para los gases CO₂ y no CO₂, respectivamente. En la Tabla 35 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 35. 1.A. Actividades de quema de combustible: métodos aplicados por subcategoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|---------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 1.A. Actividades de quema de combustible | T1, T2, IE, NE, NO | D, IE, NE, NO | T1, T2, IE, NE, NO | D, IE, NE, NO | T1, T2, IE, NE, NO | D, IE, NE, NO |
| 1.A.1. Industrias de la energía | T1, T2, NO | D, NO | T1, NO | D, NO | T1, NO | D, NO |
| 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE |
| 1.A.3. Transporte | T1, IE, NE | D, IE, NE | T1, T2, IE, NE | D, IE, NE | T1, T2, IE, NE | D, IE, NE |
| 1.A.4. Otros sectores | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE |
| 1.A.5. No especificado | T1, IE, NE | IE, NE | IE, NE | IE, NE | IE, NE | IE, NE |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Todos los cálculos se hicieron de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* utilizando factores de emisión por defecto y la Ecuación 2 para la mayoría de los cálculos, (a excepción del componente *Manufactura de combustibles sólidos* la cual se describe en la sección 3.2.8.3). El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de planillas Excel.

Ecuación 2. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de GEI procedentes de la combustión estacionaria Nivel 1

$$Emisión_{GEI} = Consumo_{combustible_{tipo\ combustible}} \times Factor\ de\ emisión_{GEI,tipo\ de\ combustible}$$

Fuente: Ecuación 2.1; Capítulo 2; Volumen 2; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- **$Emisión_{GEI}$** = emisiones de un gas de efecto invernadero dado por tipo de combustible (kg GEI).
- **$Consumo_{combustible_{tipo\ combustible}}$** = cantidad de combustible quemado (TJ).
- **$Factor\ de\ emisión_{GEI,tipo\ de\ combustible}$** = factor de emisión por defecto de un GEI dado por tipo de combustible (kg GEI/TJ). Para el caso del CO₂, incluye el factor de oxidación del carbono, que se asumen en 1 por defecto.

3.2.4. Comparación entre el Método de referencia y el Método sectorial

La comparación de los resultados de las emisiones de CO₂ obtenidas con el *Método de referencia* y el *Método sectorial* permite comprobar la validez de los cálculos realizados. El *Método de referencia* usa los valores totales de la estadística nacional de energía, mientras que el *Método sectorial* usa valores parcializados acotados a cada categoría que en su conjunto suman el total nacional del sector *Energía*.

En general, la tendencia de las emisiones de CO₂ presenta diferencias razonables (menores al 5 % en términos absolutos) previo al 2010. Posterior a esta fecha se presentan las mayores diferencias, superando en 2010, 2013 y 2014 el 5 %. Las diferencias se deben a diversas consideraciones en el uso final y de transformación de combustibles como el carbón, el gas natural, el gas licuado de petróleo (GLP) y el biogás; así como también a las modificaciones de consumo históricas realizadas en esta actualización, las cuales no se vieron reflejadas en los números utilizados para la estimación del método de referencia (Tabla 36 y

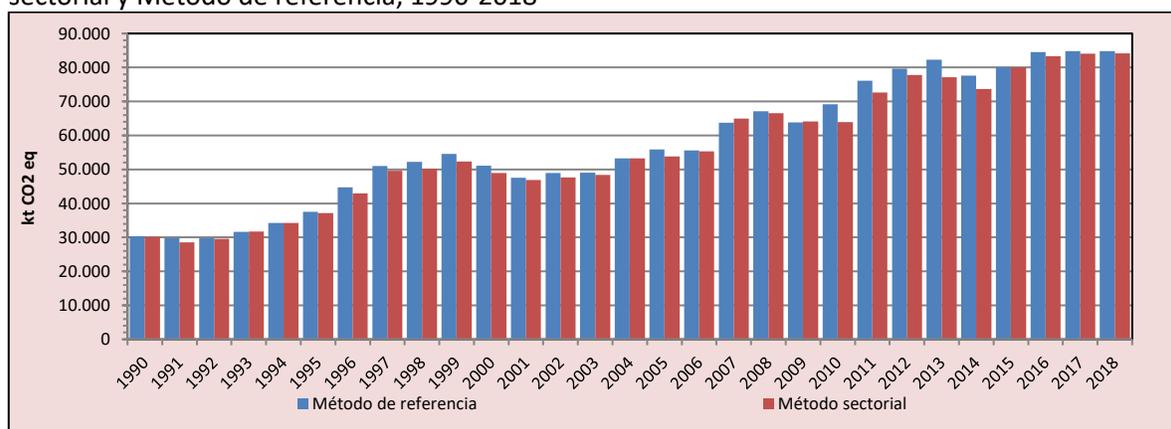
Figura 31).

Tabla 36. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq) del Método sectorial y Método de referencia, incluyendo su diferencia

| Método | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|
| Método de referencia | 30.283,9 | 51.078,7 | 69.179,2 | 82.234,1 | 84.535,2 | 84.785,2 | 84.846,7 |
| Método sectorial | 30.125,4 | 48.932,7 | 63.895,1 | 77.073,0 | 83.281,7 | 84.051,2 | 84.104,8 |
| Diferencia | - 158,5 | - 2.146,0 | - 5.284,1 | - 5.161,1 | - 1.253,5 | - 734,1 | - 741,9 |
| Diferencia % | -0,5% | -4,4% | -8,3% | -6,7% | -1,5% | -0,9% | -0,9% |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 31. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq) del Método sectorial y Método de referencia, 1990-2018

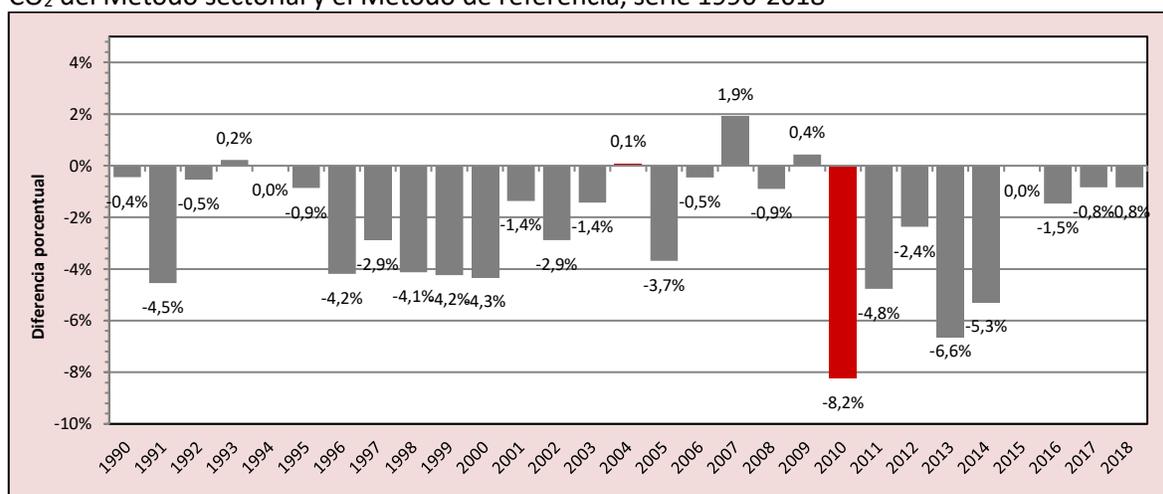


Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

En la Figura 32 se observa la diferencia porcentual entre el *Método de referencia* y el *Método sectorial* para la serie 1990-2018. Para los casos en que la diferencia es mayor al 5 %, se debe principalmente a las correcciones históricas realizadas por casos particulares en cada uno de esos años, los cuales no se ven reflejado en el método de referencia porque los datos utilizados en este método vienen directamente del BNE. El detalle de cada caso se explica a continuación:

- Para el 2010, en donde se alcanzó la mayor diferencia (-8,2%), se debe a la interpolación realizada de los consumos de gas natural y diésel en la componente *Minería* (1.A.2.i) y de fuelóleo residual en el subcomponente *Todo terreno* (1.A.3.e.ii), ya que existían valores para esos años totalmente fuera de rango para dichos usos, los cuales están asociados a errores metodológicos del BNE para dicho año.
- Respecto a los años 2013 y 2014, en donde las diferencias alcanzaron un -6,6 % y -5,3 % respectivamente, estas se deben principalmente a correcciones en la asignación de coque de petróleo en *Industria no especificada* (1.A.2.m), junto con correcciones de interpolación para esos años con respecto al consumo de carbón y diésel en la componente *Minería* (1.A.2.i), dado que dichos años se encontraban sin valores, lo cual se corrigió únicamente en los datos manejados dentro de las planillas del INGEl, y no directamente del BNE

Figura 32. 1.A. Actividades de quema de combustible: diferencia porcentual entre las emisiones de CO₂ del Método sectorial y el Método de referencia, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Aspectos metodológicos

La estimación de las emisiones de CO₂ mediante el *Método de referencia* consiste en un método “top down”, en donde la hipótesis es que se conserva el carbono de modo que, por ejemplo, el carbono del petróleo crudo es igual al contenido total de carbono de todos los productos derivados. La metodología del *Método de referencia* desglosa el cálculo de las emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustibles en cinco pasos:

- Paso 1: Estimar el consumo aparente de combustible en unidades originales (unidades físicas);
- Paso 2: Convertirlo en una unidad común de energía, en este caso TJ (Tabla 37);
- Paso 3: Multiplicarlo por el contenido de carbono⁴⁹ para estimar el carbono total;
- Paso 4: Estimar el carbono excluido. Las fuentes excluidas cambiaron de nombre en el 2012.

Ambas notaciones se presentan a continuación:

| Antes del 2012 | Después del 2012 |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Espíritu Blanco <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gasolina Blanca ▪ Agurrás ▪ Solventes ▪ Fuel Fondo Vacío ▪ Etileno ▪ Gasoil ○ Alquitrán <ul style="list-style-type: none"> ▪ Asfalto ○ Coque (fracción no oxidada) | <ul style="list-style-type: none"> ○ Espíritu Blanco <ul style="list-style-type: none"> ▪ Propileno ▪ Solventes ▪ Gas de Refinería ▪ Etileno ○ Alquitrán <ul style="list-style-type: none"> ▪ Asfalto ▪ Componente Asfáltico ○ Coque (fracción no oxidada) |

- Paso 5: corregir el carbono sin oxidar (el factor de oxidación usado es igual a 1) y convertir en emisiones de CO₂.

⁴⁹ Directrices del IPCC de 2006 Cuadro 1.3; Capítulo 1; Volumen 2

Tabla 37. 1.A. Actividades de quema de combustible: datos de actividad del consumo aparente (TJ) de combustibles del Método de referencia por combustible, 1990-2018

| Años | Método de referencia | |
|------|------------------------|--|
| | Consumo aparente total | Consumo aparente menos uso no energético |
| | TJ | TJ |
| 1990 | 412.590,79 | 401.772,06 |
| 1991 | 399.340,74 | 385.885,93 |
| 1992 | 416.391,37 | 404.005,26 |
| 1993 | 440.152,08 | 429.994,71 |
| 1994 | 479.213,76 | 461.978,26 |
| 1995 | 518.766,20 | 507.259,37 |
| 1996 | 610.755,64 | 606.495,93 |
| 1997 | 661.406,55 | 646.905,25 |
| 1998 | 686.416,14 | 667.236,97 |
| 1999 | 756.010,52 | 739.536,22 |
| 2000 | 721.708,23 | 717.769,31 |
| 2001 | 689.694,97 | 685.337,50 |
| 2002 | 712.925,64 | 706.979,32 |
| 2003 | 730.147,22 | 712.266,81 |
| 2004 | 778.329,08 | 766.229,19 |
| 2005 | 806.580,39 | 798.122,78 |
| 2006 | 791.952,42 | 784.585,48 |
| 2007 | 866.539,52 | 859.029,48 |
| 2008 | 895.808,36 | 883.787,52 |
| 2009 | 859.221,50 | 850.977,11 |
| 2010 | 948.613,05 | 941.231,18 |
| 2011 | 1.027.763,61 | 1.019.139,11 |
| 2012 | 1.055.579,23 | 1.051.424,51 |
| 2013 | 1.092.219,86 | 1.081.039,92 |
| 2014 | 1.038.647,21 | 1.029.395,49 |
| 2015 | 1.061.523,34 | 1.057.647,97 |
| 2016 | 1.121.749,17 | 1.113.502,56 |
| 2017 | 1.120.491,10 | 1.113.807,05 |
| 2018 | 1.127.369,30 | 1.117.711,08 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.5. Comparación entre información internacional y el Método sectorial

Otra forma de verificación de las emisiones de GEI de la categoría *Actividades de quema de combustible* es compararla con la información proporcionada por la Agencia Internacional de Energía (AIE) disponible para la serie 1990-2017, la cual estima emisiones de CO₂ de la quema de combustibles con base en datos de consumo de combustible del país y la aplicación de las *Directrices del IPCC de 2006*.

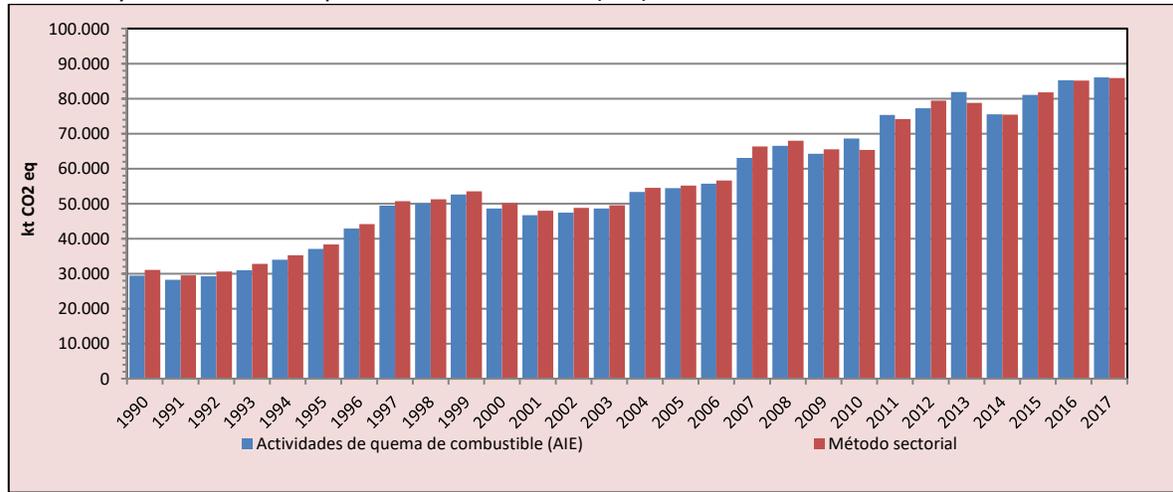
En general, la tendencia de las emisiones de CO₂ presenta diferencias razonables a lo largo de toda la serie, con una diferencia promedio del 1,8 %. Las mayores diferencias se presentan en los años 1990, 1992 y 2010, en donde se supera el 5 % de diferencia en términos absolutos. Esto se debe principalmente a que esos años fueron ampliamente modificados en esta actualización, en especial entre 1990 a 1995 por la reducción de consumo de carbón en la industria del azúcar, mientras que en el 2010 se corrigió el consumo de gas natural en la minería (Tabla 38 y Figura 33).

Tabla 38. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq) del Método sectorial y Actividades de quema de combustible (AIE), incluyendo su diferencia

| Método | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 |
|---|----------------|----------------|------------------|------------------|----------------|----------------|
| Actividades de quema de combustible (AIE) | 29.435,3 | 48.623,7 | 68.604,8 | 81.861,9 | 85.245,5 | 86.087,1 |
| Método sectorial | 31.065,5 | 50.123,5 | 65.341,1 | 78.745,9 | 85.116,0 | 85.863,5 |
| Diferencia | 1.630,2 | 1.499,8 | - 3.263,6 | - 3.116,0 | - 129,5 | - 223,6 |
| Diferencia % | 5,2% | 3,0% | -5,0% | -4,0% | -0,2% | -0,3% |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en datos de la AIE (AIE, 2018).

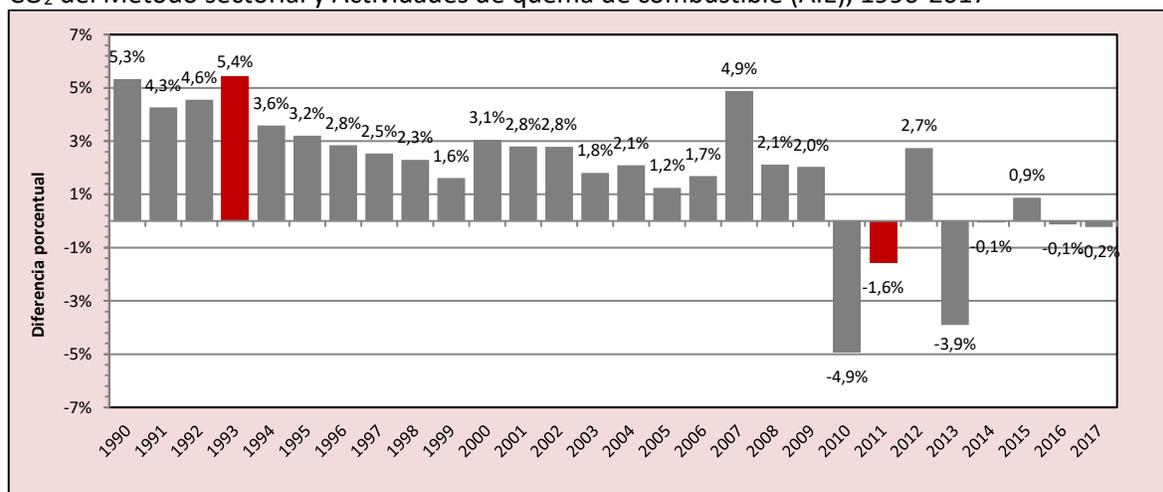
Figura 33. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq) del Método sectorial y Actividades de quema de combustible (AIE), 1990-2017



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en datos de la AIE (AIE, 2018).

En la Figura 34 se observa la diferencia porcentual entre el *Método sectorial* y los datos de la AIE para la serie histórica 1990-2015. El promedio de los absolutos de estas variaciones es de 3,6 % con un máximo de 7,2 % en el 1993 y le sigue 1990 con 6,3 %. Por otro lado, los años que presentan menor diferencia son el 2011 y el 2014 con diferencias menores al 0,8 %. Estas desigualdades son atribuibles a posibles diferencias en los supuestos de los cálculos incluyendo poderes caloríficos, factores de emisión, consumos no energéticos y emisiones de tanques internacionales.

Figura 34.1.A. Actividades de quema de combustible: diferencia porcentual entre las emisiones de CO₂ del Método sectorial y Actividades de quema de combustible (AIE), 1990-2017



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en datos de la AIE (AIE, 2018).

3.2.6. Combustible del transporte internacional

Los combustibles en los tanques del transporte internacional consideran emisiones del transporte marítimo y aéreo que tengan como punto de salida un lugar dentro del territorio nacional de Chile, y como punto de llegada un lugar fuera de territorio nacional de Chile. En promedio las emisiones de la *Navegación internacional* son mayores que las de *Aviación internacional* sin embargo, en los últimos años esto se ha invertido debido al incremento del transporte aéreo y la disminución del transporte marítimo (Tabla 39 y

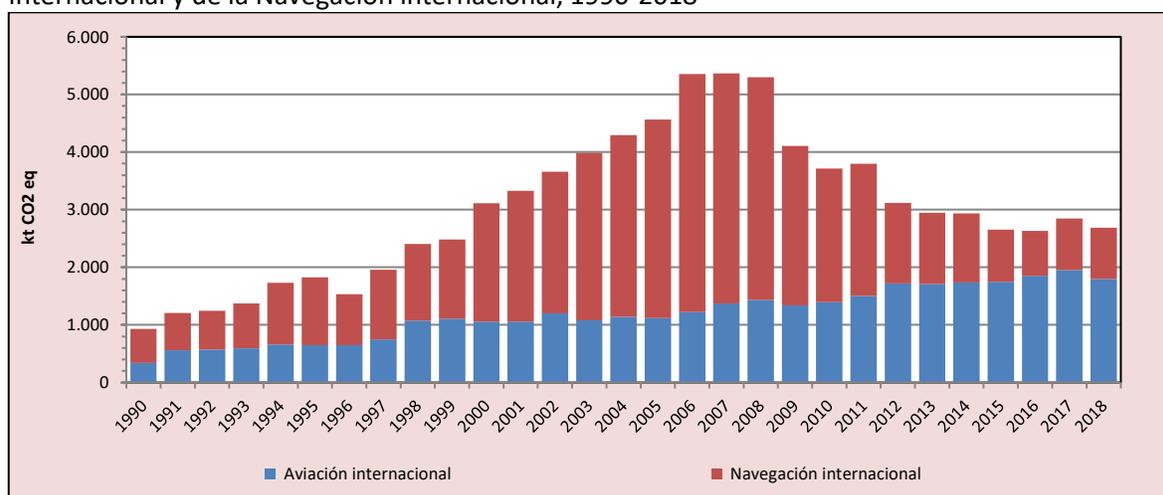
Figura 35). Esto puede ser explicado debido al incremento en la diferencia de precio para el combustible marítimo con respecto a países vecinos donde los barcos también pueden cargar combustible.

Tabla 39. Combustible del transporte internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) de la Aviación internacional y de la Navegación internacional

| Transporte | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Aviación internacional | 337,5 | 1.055,4 | 1.397,3 | 1.711,4 | 1.855,0 | 1.952,9 | 1.798,6 |
| Navegación internacional | 595,2 | 2.056,0 | 2.318,7 | 1.234,3 | 777,1 | 895,0 | 888,9 |
| Total | 932,7 | 3.111,3 | 3.715,9 | 2.945,7 | 2.632,1 | 2.848,0 | 2.687,5 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 35. Combustible del transporte internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) de la Aviación internacional y de la Navegación internacional, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Aspectos metodológicos

Para la estimación de las emisiones de GEI de *Combustible del transporte internacional* se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* (descrito en la sección 3.2.3. *supra*) usando datos de actividad desde diversas fuentes y factores de emisión por defecto.

Los datos de actividad provienen desde el BNE y otras fuentes de información, debido a que el BNE reporta los consumos de combustible para transporte en categorías que incluyen tanto uso nacional como internacional. Para la desagregación se usó información publicada por el Servicio Nacional de Aduanas (Aduanas), disponible desde el 2002 en adelante. Para los años anteriores se usó la estimación de consumo realizada en el estudio *desarrollo y aplicación de una metodología local de cálculo de emisiones búnker para gases de efecto invernadero* (Sistemas Sustentables, 2009).

La desagregación de la información se realizó solo para los combustibles diésel y petróleos combustibles (fuelóleo residual) usados en el transporte marítimo, y jet querosene usado en el transporte aéreo; ya que esta es la información disponible en las bases de datos de comercio internacional del Servicio Nacional de Aduanas. Para el cálculo se consideran los consumos de estos combustibles del BNE como la suma del uso nacional e internacional. Luego de Aduanas se toma el consumo de combustibles en los tanques internacionales por tipo de transporte (marítimo o aéreo)

y por tipo de combustible y se resta a los totales. La diferencia entre estos valores determina el consumo nacional. Por otro lado, los combustibles distintos a los mencionados anteriormente se asignan a consumo nacional. Los datos de actividad usados se muestran a continuación.

Tabla 40. Combustible del transporte internacional: datos de actividad (TJ), 1990-2018

| Años | Navegación | | Aviación |
|------|------------|----------------------|---------------|
| | Diésel | Petróleo combustible | Jet Querosene |
| | TJ | TJ | TJ |
| 1990 | 1.095,66 | 6.565,00 | 4.679,88 |
| 1991 | 1.396,01 | 6.920,18 | 7.770,37 |
| 1992 | 871,42 | 7.793,04 | 7.955,80 |
| 1993 | 771,71 | 9.212,99 | 8.269,26 |
| 1994 | 1.079,52 | 12.658,47 | 9.169,91 |
| 1995 | 1.383,00 | 13.773,55 | 8.971,24 |
| 1996 | 1.391,67 | 9.985,61 | 8.980,07 |
| 1997 | 1.794,87 | 13.765,19 | 10.388,45 |
| 1998 | 1.526,07 | 15.506,72 | 14.927,05 |
| 1999 | 1.513,07 | 16.170,76 | 15.333,23 |
| 2000 | 1.812,21 | 24.565,19 | 14.635,66 |
| 2001 | 1.929,27 | 27.212,99 | 14.644,49 |
| 2002 | 2.415,50 | 29.167,02 | 16.647,90 |
| 2003 | 2.370,36 | 34.848,15 | 14.993,93 |
| 2004 | 1.762,48 | 38.617,30 | 15.837,69 |
| 2005 | 1.524,41 | 42.672,94 | 15.492,46 |
| 2006 | 2.294,19 | 50.675,21 | 16.944,22 |
| 2007 | 1.797,79 | 49.387,23 | 19.026,27 |
| 2008 | 1.954,71 | 47.621,05 | 19.855,13 |
| 2009 | 1.957,34 | 33.483,75 | 18.595,64 |
| 2010 | 2.672,80 | 27.101,48 | 19.377,34 |
| 2011 | 3.331,01 | 26.112,52 | 20.877,55 |
| 2012 | 3.601,79 | 14.437,08 | 23.838,89 |
| 2013 | 1.412,53 | 14.437,08 | 23.733,70 |
| 2014 | 1.230,96 | 14.167,58 | 24.086,63 |
| 2015 | 837,95 | 10.767,42 | 24.242,11 |
| 2016 | 1.157,90 | 8.831,60 | 25.725,63 |
| 2017 | 1.747,53 | 9.775,83 | 27.083,34 |
| 2018 | 1.480,17 | 9.953,85 | 24.942,75 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en (Sistemas Sustentables, 2009) y a datos del Servicio Nacional de Aduanas

Cabe destacar que la información proporcionada por el Servicio de Aduanas y la información publicada en el BNE provienen de distintas fuentes y son conducidas por objetivos distintos, por lo cual los criterios de cuantificación utilizadas pueden no ser comparables en su totalidad; Este problema, junto con que es posible que se estén considerando dentro de los vuelos internacionales los viajes a la Antártica y las islas lejanas al continente americano (tales como Juan Fernández e Isla de Pascua), genera una subestimación de las emisiones nacionales, pero que sin embargo, es la mejor información disponible.

Los datos paramétricos para transformar los datos de actividad de miles de toneladas a TJ con poder calorífico inferior se muestran en la Tabla 41.

Tabla 41. Combustible del transporte internacional: datos paramétricos

| Combustible | Poder Calorífico Superior | De PCS a PCI | De Tcal a Tjoule | Poder Calorífico inferior |
|------------------------|---------------------------|--------------|------------------|---------------------------|
| | kcal/kg | | | TJ/kt |
| Diésel | 10.900 | 0,95 | 4,186 | 43,4 |
| Petróleos combustibles | 10.500 | 0,95 | 4,186 | 41,8 |
| Jet Querosene | 11.100 | 0,95 | 4,186 | 44,1 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Los factores de emisión por defecto usados para el cálculo de las emisiones de GEI del *Combustible del transporte internacional* se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 42. Combustible del transporte internacional: factores de emisión por defecto

| Años | Navegación | | Aviación |
|---------------------|------------|----------------------|---------------|
| | Diésel | Petróleo combustible | Jet Querosene |
| | kg gas/TJ | kg gas/TJ | kg gas/TJ |
| FE CO ₂ | 74.100 | 77.400 | 71.500 |
| FE CH ₄ | 7 | 7 | 0,5 |
| FE N ₂ O | 2 | 2 | 2 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadros 3.5.2, 3.5.3, 3.6.4 y 3.6.5; Capítulo 3; Volumen 2)

3.2.6.1. Aviación internacional

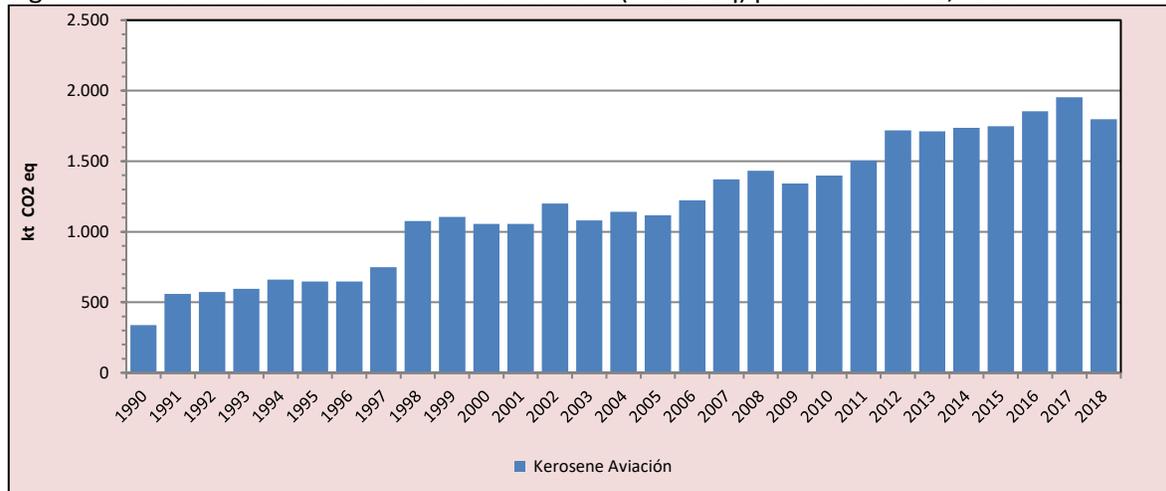
En 2018, las emisiones de GEI de la *Aviación internacional* contabilizaron 1.401,4 kt CO₂ eq, desde 1990 han incrementado en un 433,0 % y desde 2016 disminuyeron en un 3,0 % (Tabla 43 y Figura 36). Este crecimiento se debe directamente al incremento de uso de combustible debido a una mayor cantidad de pasajeros transportados al año de acuerdo con datos del Banco Mundial (Banco mundial, 2016). En 1998 se observa un importante incremento y en la misma época, la Línea Aérea Nacional de Chile (LAN Chile) se encuentra en expansión internacional después de haberse privatizado en 1994 (LATAM Airlines Group, 2016). Adicionalmente se observa que a partir del 2008 y hasta el 2011 hay una disminución en los vuelos lo que coincide con la crisis económica internacional. Desde el 2011 al 2017, se mantuvo una tendencia al alza en el sector, decayendo finalmente para el año 2018, debido al aumento de ofertas de destinos internacionales más cercanos al país, lo que permitió generar una mayor cantidad de vuelos, pero distancias más cortas (JAC, 2018).

Tabla 43. Aviación internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible

| Combustible | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Jet querosene | 337,5 | 1.055,4 | 1.397,3 | 1.711,4 | 1.855,0 | 1.952,9 | 1.798,6 |
| Total | 337,5 | 1.055,4 | 1.397,3 | 1.711,4 | 1.855,0 | 1.952,9 | 1.798,6 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 36. Aviación internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.6.2. Navegación internacional

En 2018, las emisiones de GEI de la *Navegación internacional* contabilizaron 888,9 kt CO₂ eq, desde 1990 han incrementado en un 49,3 % y desde 2016 en un 14,4 % (Tabla 44 y

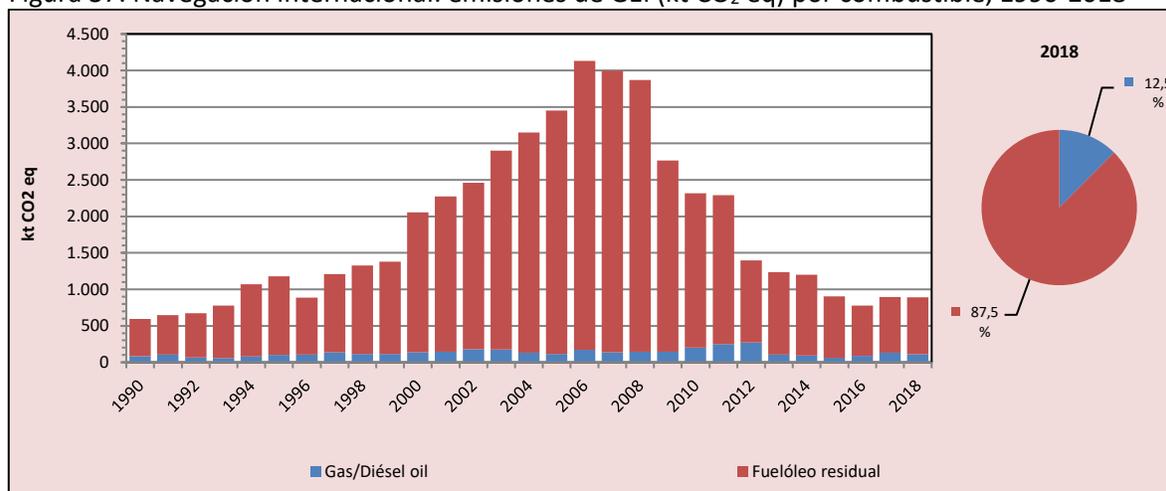
Figura 37). Se observa una tendencia al alza entre 1990 y el 2006 pero luego se invierte la tendencia disminuyendo constantemente hasta el 2018.

Estos resultados reflejan los datos de actividad de Aduanas, los cuales fueron validados por la “Mesa Bunker”, instancia organizada por el ministerio de relaciones exteriores junto expertos en la materia (tales como la armada, ministerio de transporte, empresas navieras, etc.), quienes indicaron que efectivamente ocurrió un máximo entre 2006 y 2008, para luego ver un decaimiento en la tendencia, debido principalmente a que Chile no es un país productor de estos dos tipos de combustibles, incidiendo así en su alto precio de venta en territorio nacional, siendo una oferta poco conveniente frente a las ofertas que puedan haber dentro de la región (tales como Argentina, Brasil o Perú).

Tabla 44. Navegación internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible

| Combustible | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| Gas/Diésel oíl | 82,0 | 135,7 | 200,1 | 105,8 | 86,7 | 130,8 | 110,8 |
| Fuelóleo residual | 513,2 | 1.920,3 | 2.118,5 | 1.128,6 | 690,4 | 764,2 | 778,1 |
| Total | 595,2 | 2.056,0 | 2.318,7 | 1.234,3 | 777,1 | 895,0 | 888,9 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 37. Navegación internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, 1990-2018

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.7. Partidas informativas: Emisiones de CO₂ de Biomasa y uso no energético

3.2.7.1. Emisiones de CO₂ de la biomasa

En conformidad con las *Directrices del IPCC de 2006*, las emisiones de CO₂ de la combustión de la biomasa han sido estimadas, pero no están incluidas en los totales nacionales. Esta información se registra como *Partidas informativas* para la verificación cruzada y para evitar el doble conteo con el sector *UTCUTS*. El BNE considera como biomasa principalmente leña, pero también otros productos de madera, tales como retazos, residuos forestales, pellet y licor negro.

En 2018, las emisiones de CO₂ de la biomasa quemada con fines energéticos contabilizaron 33.746,1 kt CO₂ eq, incrementándose en un 259,9 % desde 1990 y disminuyendo en un 4,8 % desde 2016. En la Tabla 45 y Figura 38 se aprecia el aumento sostenido en el consumo de leña entre los años 1990 y 2009, el cual se debe a la expansión de la demanda del sector residencial. Posterior a ello, se presenta una caída en los años 2010 y 2011, la que se debe a un ajuste metodológico realizado para el consumo de biomasa en el sector residencial a partir de un estudio elaborado en el año 2015. En este se realizó una encuesta sobre el consumo de leña por hogar a nivel país, concluyendo que existía una sobre estimación de dicho consumo. A partir de esta información se realizó una proyección retrospectiva hasta el 2010 (último año hasta el cual se realizó una actualización del BNE). Por otra parte, el principal causante del aumento presentado desde el año 2012 se debe un cambio en la metodología de recopilación de datos de actividad en el BNE en la que aumentó el autoconsumo del sector de *Pulpa, papel e imprenta*. Para la actualización de este año, se realizaron 2 mejoras significativas a la tendencia de emisiones de la biomasa, las cuales están asociadas a dos sectores distintos; estos son:

- **Sector Residencial:** Para el consumo de leña en el sector residencial realizó una extrapolación hacia 1990 a partir de los años 2010 y 2018. Esto se hizo en base a la recomendación realizada por el equipo revisor del ISGEI de Energía⁵⁰, en donde sugirieron modificar valores dentro del ISGEI sin tener intervenir directamente el BNE. Esto generó disminución de emisiones entre 1990 y 2009.

⁵⁰ Revisión experta realizada por el equipo de la REDINGEI

- **Sector Industrial:** Dentro de este sector se modificaron los consumos desde 2012 a 2018, dada la gran variabilidad de los valores presentados en los BNE a partir de dicho año. Para ello, se modificaron las tendencias de consumo en las siguientes subcategorías:
 - Modificación en el consumo de biomasa en *Industria no especificada* (1.A.2.m) desde el 2013 en adelante a partir de una extrapolación logarítmica de los datos hasta el 2012. Se decide realizar una extrapolación logarítmica dado que la tendencia de datos hasta esa fecha parece seguir una curva con dichas características. A diferencia de otras extrapolaciones, en este caso se decide no seguir con la tendencia de los datos originales ya que presentan variabilidades muy elevadas, con una desviación estándar de 2.526 Tcal, equivalente a cerca del 20% del promedio (13.132 Tcal).
 - Modificación en el autoconsumo de *Papel, pulpa e imprenta* (1.A.2.d) desde el año 2012 en adelante, siguiendo la trayectoria de los datos del BNE, pero desde el valor de inicio 2012. Esto se corrige ya que a partir del 2013 los valores asociados a este consumo se sextuplican respecto al año anterior, incremento que no tiene justificación según los antecedentes recopilados.

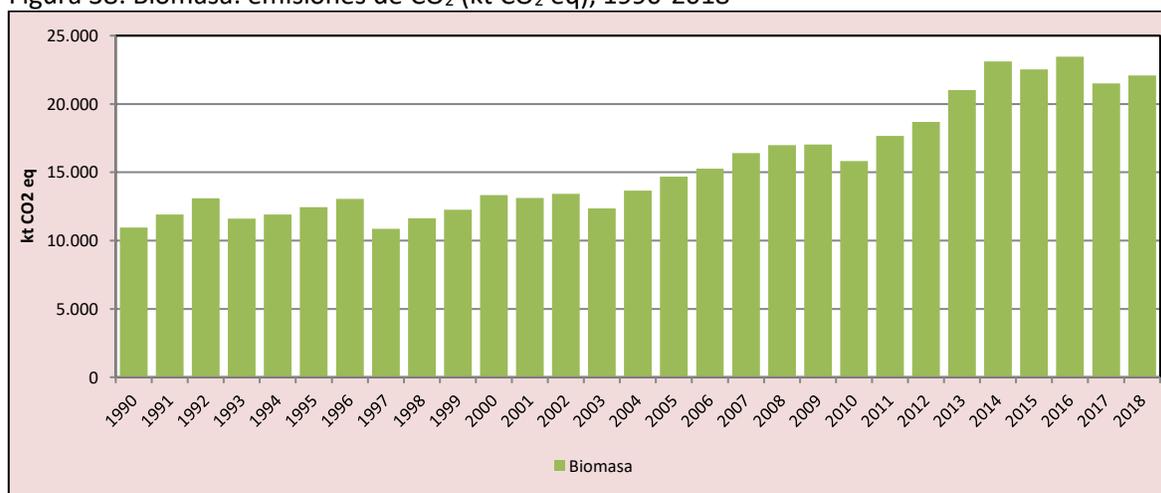
Dentro del plan de mejora continua está el trabajo de realizar estas actualizaciones a los BNE de años anteriores, en la medida que la información existente lo permita realizar.

Tabla 45. Biomasa: emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq)

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Biomasa | 10.953,0 | 13.341,9 | 15.830,1 | 21.008,8 | 24.195,0 | 21.898,0 | 22.407,3 |
| Total | 10.953,0 | 13.341,9 | 15.830,1 | 21.008,8 | 24.195,0 | 21.898,0 | 22.407,3 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 38. Biomasa: emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Aspectos metodológicos

Para la estimación de las emisiones de GEI de *Emisiones de CO₂ de la biomasa* se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* (descrito en la sección 3.2.3. *supra*) usando datos de actividad del BNE (Tabla 46) y factores de emisión por defecto (Tabla 47Tabla 46).

Tabla 46. Biomasa: datos de actividad (TJ), 1990-2018

| Años | Total Biomasa (TJ) |
|------|--------------------|
| 1990 | 97.794,3 |
| 1991 | 106.267,2 |
| 1992 | 117.016,0 |
| 1993 | 103.603,9 |
| 1994 | 106.320,7 |
| 1995 | 111.223,2 |
| 1996 | 116.630,8 |
| 1997 | 97.062,3 |
| 1998 | 103.875,0 |
| 1999 | 109.439,6 |
| 2000 | 119.123,8 |
| 2001 | 117.134,3 |
| 2002 | 119.810,4 |
| 2003 | 110.323,3 |
| 2004 | 121.874,0 |
| 2005 | 131.091,1 |
| 2006 | 136.299,8 |
| 2007 | 146.382,8 |
| 2008 | 151.644,1 |
| 2009 | 152.057,5 |
| 2010 | 141.339,9 |
| 2011 | 157.755,1 |
| 2012 | 166.878,4 |
| 2013 | 187.429,8 |
| 2014 | 202.294,7 |
| 2015 | 208.260,3 |
| 2016 | 214.698,6 |
| 2017 | 194.323,5 |
| 2018 | 198.561,3 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en BNE 1990-2018

Tabla 47. Biomasa: datos paramétricos y factor de emisión para Emisiones de CO₂

| Combustible | Poder Calorífico Superior | Factor de emisión CO ₂ |
|-------------|---------------------------|-----------------------------------|
| | kcal/kg | kg CO ₂ /TJ |
| Biomasa | 3.500 | 112.000 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en BNE y *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 2.2; Capítulo 2; Volumen 2)

3.2.7.2. Uso no energético de los combustibles

El BNE considera uso no energético de combustibles de dos maneras. Por un lado, desde el 2012 se publica una columna de “*Derivados industriales de petróleo*” los que consideran el uso de derivados de petróleo no energéticos como aceites, lubricantes y ceras. Antes del 2012 su consumo no se reportaba.

Por otro lado, desde el 2004 se reportan por separado los consumos de los centros de transformación y de uso propio del sector energético. Los centros de transformación son el sector que destina el BNE a las industrias del rubro energético, siendo distinto al “Sector energético” de las *Directrices del IPCC de 2006*. Los centros de transformación incluyen consumo para generación eléctrica pública, para autogeneración y para transformación a otros combustibles secundarios. Los primeros dos se consideran en el INGEI, pero el último no, ya que a diferencia de los otros dos, en la transformación a otros combustibles secundarios no existiría quema de combustibles. En centros de transformación se incluyen los siguientes campos:

- Manufactura de gas corriente
- Manufactura de coque en siderurgias
- Refinación de petróleo
- Manufactura de carbón vegetal y minería de carbón mineral
- Producción de metanol a partir de gas natural

El consumo de los centros de transformación, sin considerar la generación eléctrica, tiene alta variabilidad entre años principalmente por cambios metodológicos en la construcción del BNE. En particular, el consumo de gas natural para producción de metanol se modificó para considerar una parte (6 %) dentro del sector energético. Este porcentaje se obtuvo a través de la empresa Methanex y ya fue utilizado en las actualizaciones anteriores (INGEI 2IBAe INGEI 3IBA).

Cabe recalcar que el consumo con fines energéticos de estas industrias se considera dentro de las componentes *Refinación del petróleo* (1.A.1.b) y *Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias de la energía* (1.A.1.c) y se obtienen del sector energético del BNE.

3.2.8. Industrias de la energía (1.A.1)

3.2.8.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye las emisiones de GEI generadas por la quema de combustibles debido a las industrias de producción energética y a las actividades de extracción de combustibles. En la Tabla 48 se presentan sus componentes y respectivamente los sectores del BNE que lo comprenden.

Tabla 48. 1.A.1. Industrias de la energía: componentes y supuestos relevantes

| Componente | Definición IPCC | Sector BNE | Observaciones |
|---|--|---|---|
| 1.A.1.a. Producción de electricidad y calor como actividad principal | Incluye 3 subcomponentes: electricidad, generación combinada de calor y electricidad y centrales de calor. Pueden ser empresas públicas o privadas pero la generación es para consumo público. | Sector Energético: Electricidad: Servicio Público | En Chile no existen industrias que se dediquen principalmente a la generación de calor o a la cogeneración. Las empresas que producen electricidad, pero no como su actividad principal, son llamadas en el BNE como Autoproductores. El consumo de combustible de estos se reporta principalmente en 1.A.2 desagregado según la actividad principal de la empresa. |
| 1.A.1.b. Refinación del petróleo | Actividades de combustión usadas en el proceso de refinación del petróleo, incluyen autogeneración de electricidad y calor. | Sector Energético: Petróleo | Se consideran los consumos utilizados para el funcionamiento de la refinería. El petróleo utilizado para ser transformado en otros combustibles secundarios no se considera y está reportado por separado en el BNE. |
| 1.A.1.c. Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias de la energía | Combustión para la fabricación de energéticos secundarios a partir de combustible sólido, incluyendo producción de carbón vegetal, coque, gas de fábrica de gas, minería de carbón mineral entre otros. También se debe incluir la autogeneración. | Sector Energético: Siderurgia, Plantas de gas y Carbón | La Fabricación de combustibles sólidos considera del sector energético del BNE la manufactura de coque y de gas corriente. Este último, a pesar de ser un gas, las <i>Directrices del IPCC de 2006</i> lo clasifica como combustible sólido por ser un gas derivado. Otras industrias de la energía según definición de las <i>Directrices del IPCC de 2006</i> considera dentro del sector energético del BNE la producción de carbón vegetal y mineral. |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en *Directrices del IPCC de 2006*

3.2.8.2. Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría *Industrias de la energía* es la principal subcategoría emisora del sector Energía representando para el año 2018 el 39,3 % de las emisiones de GEI del sector; y además es la principal

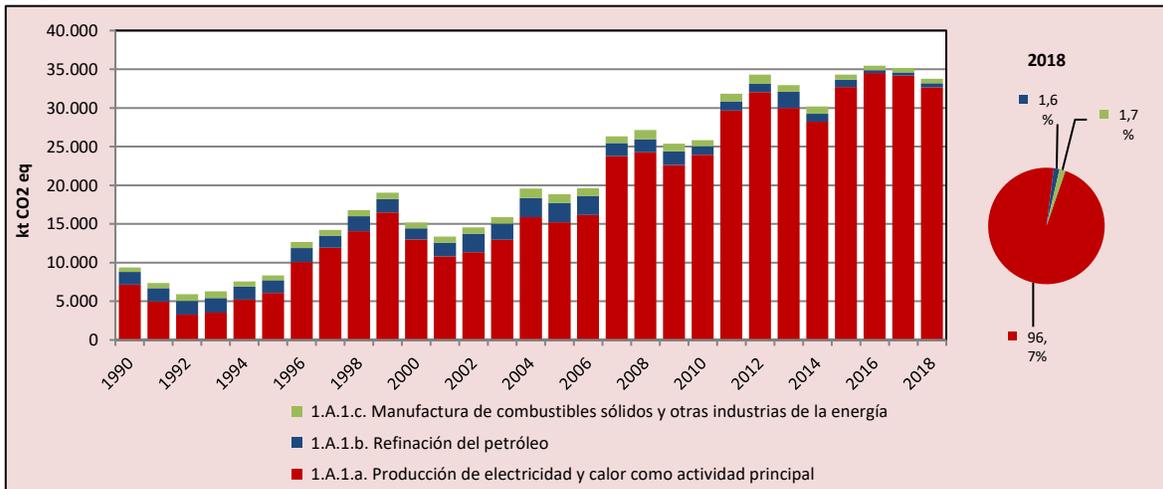
fuentes individuales de emisiones a nivel nacional, representando el 29,7 % de las emisiones de GEI totales del país (excluyendo UTCUTS). En 2018, sus emisiones de GEI contabilizaron 33.746,1 kt CO₂ eq, incrementándose en un 259,9 % desde 1990, y disminuyendo en un 4,8% desde 2016 (Tabla 49 y Figura 39).

Tabla 49. 1.A.1. Industrias de la energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.A.1.a. Producción de electricidad y calor como actividad principal | 7.134,8 | 12.979,3 | 23.933,6 | 29.961,9 | 34.514,5 | 34.191,1 | 32.647,5 |
| 1.A.1.b. Refinación del petróleo | 1.677,6 | 1.470,8 | 1.129,7 | 2.123,5 | 366,1 | 411,4 | 537,8 |
| 1.A.1.c. Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía | 564,5 | 742,2 | 782,6 | 847,5 | 569,1 | 550,0 | 560,7 |
| Total | 9.377,0 | 15.192,4 | 25.845,9 | 32.932,9 | 35.449,7 | 35.152,5 | 33.746,1 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 39. 1.A.1. Industrias de la energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Para analizar el comportamiento de las emisiones del componente *Producción de electricidad y calor como actividad principal* se puede observar la tendencia de la generación eléctrica en Chile por tipo de combustible. Se observa en la Tabla 50 y Figura 40 que el carbón es el principal emisor a lo largo de la serie, alcanzando sus mayores niveles de participación a principios y finales de ésta (entre 1990 y 2000 y luego entre 2012 y 2018). El segundo combustible de mayor relevancia es el gas natural, el cual ha fluctuado su participación considerablemente dentro de la serie, debido a que Chile no es un productor de este combustible, por lo que su obtención se ha sostenido entre importaciones desde Argentina y luego mediante puertos de regasificación instalados a partir de la crisis ocurrida en el 2007.

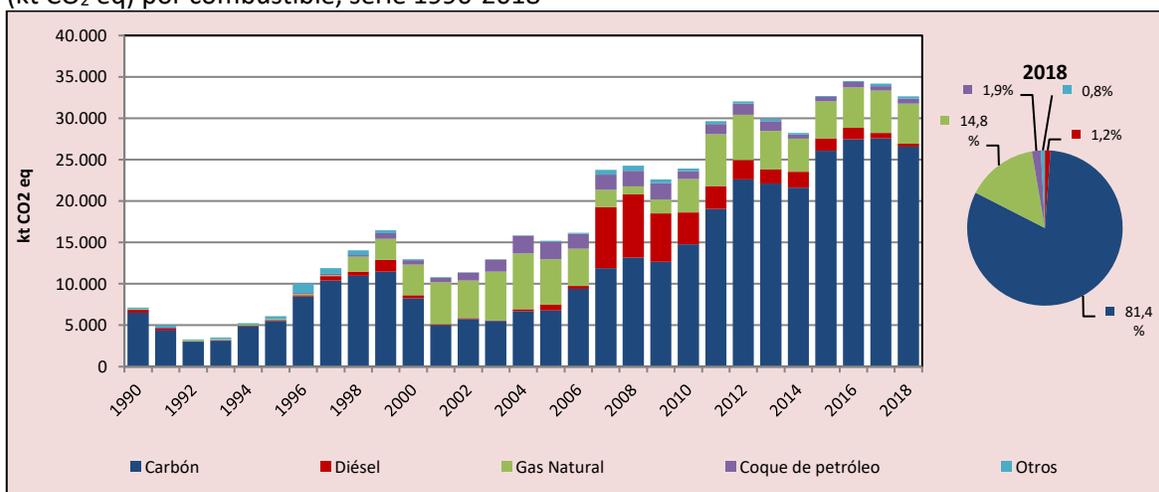
Tabla 50. 1.A.1.a. Producción de electricidad y calor como actividad principal: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2018

| Combustible | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Diésel | 327,1 | 353,7 | 3.827,2 | 1.708,8 | 1.384,8 | 642,2 | 379,1 |
| Carbón | 6.532,3 | 8.264,7 | 14.792,0 | 22.117,8 | 27.479,0 | 27.584,8 | 26.559,7 |

| | | | | | | | |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Gas Natural | 73,0 | 3.697,0 | 4.057,9 | 4.619,5 | 4.868,0 | 5.101,7 | 4.833,3 |
| Coque | - | 560,8 | 949,1 | 1.190,1 | 651,7 | 557,7 | 604,1 |
| Otros | 202,4 | 103,1 | 307,5 | 325,8 | 130,9 | 304,6 | 271,3 |
| Total | 7.134,8 | 12.979,3 | 23.933,6 | 29.961,9 | 34.514,5 | 34.191,1 | 32.647,5 |

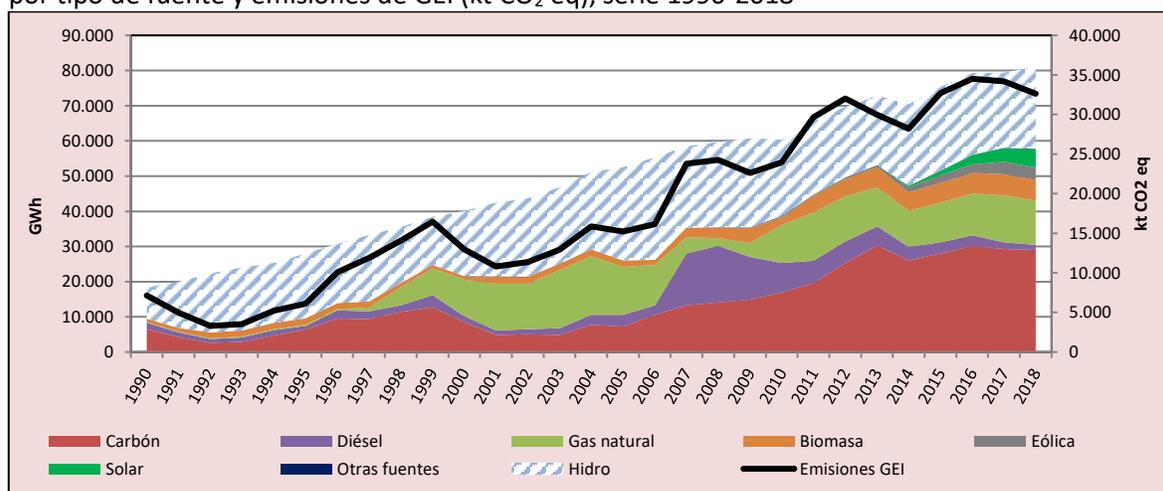
Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 40. 1.A.1.a. Producción de electricidad y calor como actividad principal: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Al comparar las emisiones de GEI con las curvas de generación eléctrica (GWh) por tipo de fuente (Figura 41), se puede apreciar que los máximos de emisión se presentan cuando decrece la generación por fuente hidráulica y aumenta el consumo de diésel y especialmente carbón, como se observa en 1999, 2008-2013 y 2015-2017. Situación contraria ocurre en los períodos 1990-1992, 2005-2006 y en 2014 donde se ve el aumento de la fuente hídrica y una disminución en la tendencia de crecimiento de las emisiones de la subcategoría. Cabe destacar la influencia del uso del gas natural en las emisiones de GEI en el período 1999-2006, en donde se observa cómo disminuyen las emisiones de GEI debido al aumento del consumo de gas natural a raíz de la entrada de una gran oferta de este combustible desde Argentina, que desplaza el consumo de carbón y diésel. Asimismo, desde 2007 se observa cómo el corte del suministro de gas natural por parte de Argentina, acompañado de una menor oferta hídrica debido a las sequías, produce un aumento en el consumo de diésel y carbón; en un inicio, el principal sustituto fue el diésel debido a que las centrales a gas natural son en su mayoría homologables con el diésel. Posteriormente ingresó con mayor fuerza el carbón dado su menor costo, lo que incrementa a su vez las emisiones de GEI, retomando la tendencia al alza observada entre 1990 y 1998. La disminución presentada entre los años 2008-2010 se debe principalmente a la crisis económica mundial del año 2008 junto con el terremoto del año 2010. En tanto la caída de emisiones presentada en el año 2014 está relacionada a que el año 2013 fue un año muy lluvioso, lo cual permitió almacenar grandes cantidades de agua, ya sea por embalse o en los glaciares de las montañas del sur del país, aumentando así la oferta de esta generación para el 2014. Para los años venideros, se ve cómo aumentan las emisiones hasta el 2016 por el mayor uso de carbón, para luego decaer en el 2018. Esto debido principalmente al incremento en la participación de las fuentes ERNC (solar, eólica, minihidro y geotermia) junto con el retorno del gas natural para la generación eléctrica. Además, es posible apreciar como el diésel va disminuyendo cada vez más su participación, motivado por el ingreso de fuentes renovables y a su alto precio frente a otras alternativas fósiles (como el gas natural).

Figura 41. 1.A.1.a. Producción de electricidad y calor como actividad principal: generación eléctrica por tipo de fuente y emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2018

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

(*) Los datos de emisiones no consideran autoproducción, solo servicio público mientras que los datos de generación sí consideran autoproducción.

3.2.8.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* (descrito en la sección 3.2.3. *supra*) usando datos de actividad desde el BNE y factores de emisión por defecto.

La Tabla 51 resume los métodos que se aplicaron para cada componente de la subcategoría. Es importante mencionar que en Chile no existe un mercado en el que se ofrezca energía en forma de calor, por lo que el combustible consumido para cogeneración y generación de calor como energía queda reportado en el BNE como autoconsumo y consumo de la industria. Por lo tanto, las emisiones de GEI de los subcomponentes *Generación combinada de calor y energía* (1.A.1.a.ii) y *Plantas generadoras de energía* (1.A.1.a.iii.) están incluidas dentro de la categoría *Industrias manufactureras y de la construcción*.

Tabla 51. 1.A.1. Industrias de la energía: métodos aplicados por componente

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|---|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 1.A.1. Industrias de la energía | T1, T2, NO | D, NO | T1, NO | D, NO | T1, NO | D, NO |
| 1.A.1.a. Producción de electricidad y calor como actividad principal | T1, T2, NO | D, NO | T1, NO | D, NO | T1, NO | D, NO |
| 1.A.1.a.i. Generación de electricidad | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.1.a.ii. Generación combinada de calor y energía (CHP) | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 1.A.1.a.iii. Plantas generadoras de energía | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 1.A.1.b. Refinación del petróleo | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.1.c. Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía | T1, T2 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.1.c.i. Manufactura de combustibles sólidos | T1, T2 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.1.c.ii. Otras industrias de la energía | T1 | D | T1 | D | T1 | D |

T1 = Nivel 1; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de planillas Excel.

Para el subcomponente *Manufactura de combustibles sólidos* (1.A.1.c.i), en particular para el cálculo de emisiones de CO₂ a raíz de la producción del coque, se utilizó la Ecuación 3, proveniente del Volumen 3, Capítulo 4 de la Directrices del IPCC de 2006, en el cual se presenta el método de cálculo de nivel 2 para este componente:

Ecuación 3. Manufactura de combustibles sólidos (1.A.1.c.i): estimación de emisiones de GEI procedentes de la combustión estacionaria para la producción de coque, Nivel 2

$$Emisión_{CO_2} = [CC * C_{CC} + \sum_A (COB_A * C_A) + BG * C_{BG} - CO * C_{CO} - COG * C_{COG} - \sum_B (COB_B * C_B)] \frac{44}{12}$$

Fuente: Volumen 3, Capítulo 4 de la Directrices del IPCC de 2006

En donde:

- **Emisión_{CO2}**: emisiones de CO₂ a partir de la producción local de coque a ser declarada en el Sector Energía.
- **CC**: cantidad de carbón coquizable consumido en la producción local de coque en instalaciones integradas de producción de hierro y acero.
- **PM_a**: cantidad de otro material de proceso a, diferente de los enumerados como términos separados, tales como el gas natural y el fuelóleo, consumido para la producción local de coque y de sinterizado en instalaciones integradas de producción de hierro y acero.
- **BG**: cantidad de gas de alto horno consumido en los hornos de coque.
- **CO**: cantidad de coque producido localmente en instalaciones integradas de producción de hierro y acero.
- **COG**: cantidad de gas de horno de coque transferido fuera de la instalación.
- **COB_b**: cantidad de producto derivado b del horno de coque, transferido fuera de la instalación o hacia otras instalaciones fuera del sitio.
- **C_x**: contenido de carbono del energético x.

3.2.8.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Todos los datos de actividad de las emisiones de la subcategoría provienen de los BNE de las series anuales desde 1990 hasta el 2018. La Tabla 52 y Tabla 53 presentan los valores correspondientes por combustible. En el ANEXO 06.02 se encuentran los datos desagregados por componente del INGEI.

Tabla 52. 1.A.1. Industrias de la energía: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2018 (1 de 2)

| Años | Gasolina para motor | Queroseno para motor a reacción | Otro queroseno | Gas/Diésel oil | Fuelóleo residual | Gases licuados de petróleo | Nafta | Alquitrán |
|------|---------------------|---------------------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------------------|-------|-----------|
| | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ |
| 1990 | - | - | - | - | 5.409,9 | 9.366,1 | 21,4 | - |
| 1991 | - | - | - | - | 3.591,2 | 10.379,3 | 56,5 | - |
| 1992 | - | - | - | - | 1.634,4 | 8.915,6 | 26,4 | - |
| 1993 | - | - | - | - | 1.745,4 | 8.538,8 | 15,1 | - |
| 1994 | - | - | - | - | 1.742,6 | 8.357,7 | 15,1 | - |

| | | | | | | | | |
|------|---------|---|-----|-------|-----------|----------|---------|---------|
| 1995 | - | - | - | - | 2.372,3 | 9.274,7 | 15,1 | - |
| 1996 | - | - | - | - | 3.187,5 | 21.089,5 | 90,4 | - |
| 1997 | - | - | - | - | 7.541,7 | 12.377,0 | 97,6 | - |
| 1998 | - | - | - | - | 6.880,3 | 13.401,9 | 105,5 | - |
| 1999 | - | - | - | - | 20.580,9 | 7.167,4 | 124,3 | - |
| 2000 | - | - | - | - | 5.117,6 | 2.088,2 | 18,8 | 2.951,3 |
| 2001 | - | - | - | - | 2.584,1 | 2.414,3 | - | 3.830,3 |
| 2002 | - | - | - | - | 1.867,5 | 1.479,6 | 3,8 | 8.495,9 |
| 2003 | - | - | - | - | 1.428,1 | 1.042,1 | - | 5.294,0 |
| 2004 | - | - | - | 1,0 | 3.269,6 | 1.336,0 | 1.098,2 | 7.754,9 |
| 2005 | - | - | - | 9,0 | 9.265,9 | 3.276,9 | 2,8 | 5.230,3 |
| 2006 | - | - | - | 3,6 | 4.765,8 | 2.627,8 | 17,5 | 7.574,7 |
| 2007 | 6,8 | - | - | 1,4 | 100.822,8 | 10.480,7 | 3.365,0 | 6.540,4 |
| 2008 | 3,9 | - | - | - | 104.042,9 | 10.217,7 | 5.043,9 | 4.469,8 |
| 2009 | 1,4 | - | - | - | 78.555,1 | 8.841,5 | 7.631,0 | 4.206,7 |
| 2010 | - | - | - | - | 51.649,8 | 5.784,6 | 3.213,9 | 1.287,0 |
| 2011 | - | - | 1,5 | - | 37.196,0 | 5.855,4 | 2.522,3 | 319,4 |
| 2012 | 4.447,1 | - | - | 188,9 | 31.849,8 | 4.435,0 | 520,0 | 94,5 |
| 2013 | 3.433,1 | - | - | - | 23.664,2 | 5.144,2 | 1.690,1 | 137,2 |
| 2014 | - | - | - | - | 26.258,0 | 1.998,2 | 635,5 | 1.191,3 |
| 2015 | - | - | 7,8 | - | 20.062,2 | 649,7 | 586,3 | 5.346,1 |
| 2016 | - | - | - | - | 18.635,8 | 972,6 | 504,4 | 0,1 |
| 2017 | - | - | - | - | 8.649,2 | 3.387,7 | 407,9 | 0,1 |
| 2018 | - | - | - | - | 5.111,1 | 3.000,6 | 456,7 | 0,1 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 53. 1.A.1. Industrias de la energía: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2018 (2 de 2)

| Años | Gas de refinería | Otro carbón bituminoso | Coque de petróleo | Gas de fábrica de gas | Gas de alto horno | Gas natural | Madera y desechos de madera | Otro biogás |
|------|------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------|-----------------------------|-------------|
| | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ |
| 1990 | 4.812,7 | 68.708,8 | - | 37,7 | 963,7 | 15.500,2 | - | - |
| 1991 | 5.154,8 | 46.059,0 | 1.340,2 | 45,2 | 1.220,9 | 14.263,1 | - | - |
| 1992 | 5.819,0 | 31.672,5 | - | 45,2 | 1.409,3 | 16.152,2 | - | - |
| 1993 | 6.411,7 | 33.125,8 | - | 41,4 | 1.827,5 | 20.016,5 | - | - |
| 1994 | 6.980,4 | 51.119,6 | - | 45,2 | 1.537,4 | 15.102,6 | - | - |
| 1995 | 8.464,0 | 57.900,9 | - | 124,3 | 1.111,6 | 14.626,8 | - | - |
| 1996 | 10.938,0 | 89.055,3 | 1.344,4 | 101,7 | 1.356,5 | 13.949,4 | 1.157,4 | - |
| 1997 | 9.403,1 | 109.507,9 | 1.340,2 | 117,0 | 1.356,6 | 15.604,0 | 1.700,0 | - |
| 1998 | 13.960,9 | 115.569,1 | 1.841,6 | 188,4 | 1.480,9 | 43.895,8 | 1.244,9 | - |
| 1999 | 13.563,1 | 120.521,0 | 7.087,8 | 15,1 | 1.503,5 | 56.747,9 | 1.169,4 | - |
| 2000 | 8.118,0 | 86.931,4 | 5.739,5 | 18,8 | 1.375,4 | 78.340,1 | 1.077,9 | - |
| 2001 | 9.140,2 | 52.709,3 | 5.453,1 | - | 1.484,6 | 104.519,9 | 1.169,4 | - |
| 2002 | 9.925,6 | 60.600,6 | 9.744,8 | - | 1.345,2 | 99.346,8 | 851,2 | - |
| 2003 | 10.127,1 | 58.039,1 | 14.660,9 | 3,8 | 1.454,5 | 123.431,4 | 934,7 | - |
| 2004 | 10.096,1 | 70.493,2 | 22.229,9 | 315,8 | 2.169,4 | 140.720,8 | 492,9 | - |
| 2005 | 12.245,0 | 71.472,0 | 21.579,9 | 332,3 | 1.961,0 | 121.304,3 | 805,1 | - |
| 2006 | 12.944,4 | 98.748,3 | 18.523,9 | 365,8 | 1.848,5 | 99.065,3 | 672,0 | - |
| 2007 | 7.812,5 | 124.949,9 | 18.676,2 | 395,0 | 1.760,7 | 42.491,8 | 986,4 | - |
| 2008 | 13.909,3 | 138.393,1 | 19.185,0 | 429,0 | 1.816,2 | 18.473,8 | 856,5 | - |
| 2009 | 14.315,0 | 133.269,8 | 20.016,1 | 345,2 | 1.544,9 | 31.083,9 | - | - |
| 2010 | 345,4 | 155.586,9 | 9.713,8 | 424,7 | 1.068,6 | 85.424,3 | - | - |
| 2011 | 247,9 | 200.387,3 | 12.291,5 | 881,1 | 1.874,3 | 129.302,7 | - | - |
| 2012 | 298,4 | 237.834,9 | 13.770,4 | 951,0 | 1.818,7 | 109.529,7 | 6.788,9 | - |
| 2013 | 1.549,0 | 232.642,5 | 12.180,4 | 674,1 | 1.158,8 | 111.211,4 | 21.658,6 | 305,9 |

| Años | Gas de refinería | Otro carbón bituminoso | Coque de petróleo | Gas de fábrica de gas | Gas de alto horno | Gas natural | Madera y desechos de madera | Otro biogás |
|------|------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------|-----------------------------|-------------|
| | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ |
| 2014 | 6,2 | 227.450,0 | 5.362,7 | 573,1 | 936,8 | 86.422,2 | 23.300,9 | 2.018,3 |
| 2015 | 5,9 | 274.496,3 | 5.589,2 | 460,3 | 988,4 | 88.378,5 | 34.242,6 | 2.515,0 |
| 2016 | 5,9 | 289.033,5 | 6.669,9 | 412,3 | 870,5 | 92.638,8 | 39.517,1 | 2.540,5 |
| 2017 | 6,2 | 290.146,6 | 5.708,4 | 345,4 | 910,6 | 97.822,2 | 21.101,1 | 2.100,2 |
| 2018 | 6,3 | 279.363,8 | 6.182,9 | 321,3 | 901,2 | 95.157,2 | 21.012,9 | 2.759,7 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Para mantener la consistencia de los datos utilizados en este proceso de actualización, se corrigieron parte de los datos del BNE que presentaron un comportamiento fuera de la tendencia, debido principalmente a cambios metodológicos. En el 2004, el BNE comenzó a reportar por separado los consumos de combustible en *Centros de transformación* y *Sector energético* (consumo propio de la industria energética). Para mantener la consistencia, se analizaron las tendencias de los consumos, tanto por subsector como por combustible. Para cada combustible se tomó un rango de años entre el 2004 y el 2013 en que se mantuvieran estables los datos y se calculó un factor de proporción. Con este valor proporcional se separó el sector *Centros de transformación*, entre 1990 y 2003, en *Centros de transformación* y *Sector energético*. La gran mayoría de los porcentajes para cada combustible resultó ser 100% o 0%, ya que en general, un combustible se utiliza particularmente en un subsector (ya sea para transformarlo o como consumo de la propia empresa). Las únicas excepciones fueron el gas natural para la refinería y gas licuado en producción de gas de fábrica. Los porcentajes que se usaron en estos casos se presentan en la Tabla 54.

Tabla 54. 1.A.1. Industrias de la energía: porcentaje para desagregación de Centros de transformación entre 1990 y 2003

| Gas natural | Sector energético | Centro de transformación | Rango de años |
|--|-------------------|--------------------------|---------------|
| Gas licuado - Producción de Gas de fábrica | 13,8 % | 86,2 % | 2004 - 2013 |
| Gas natural - Refinería | 71,4 % | 28,6 % | 2004 - 2013 |

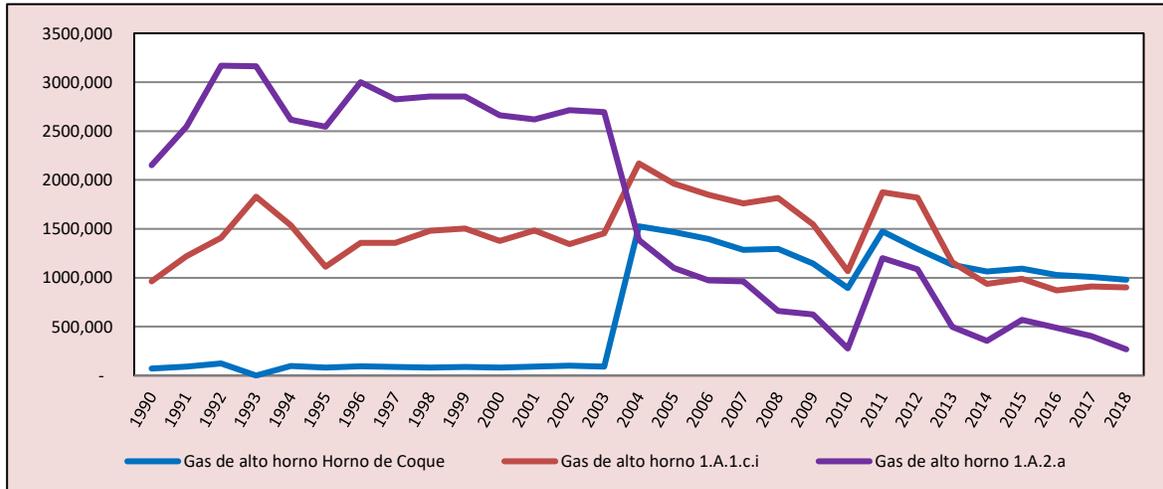
Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Por otro lado, en 1990 y 1993 se observó que los BNE presentaban consumo de combustibles solo para *Autogeneración* y nulo para *Servicio público*. En este caso se calculó un factor por combustible promediando los años 1992, 1994 y 1995 para obtener el consumo de *Servicio público*.

Respecto a los datos utilizados para el cálculo de emisiones de CO₂ a raíz de la producción del coque del subcomponente *Manufactura de combustibles sólidos* (1.A.1.c.i), fue necesario realizar diferentes correcciones de tendencia a ciertos energéticos, ya que, si se consideraban los valores originales, en parte de la serie se obtenían valores negativos, demostrando inconsistencia en los datos. Los cambios realizados fueron los siguientes:

- Modificación a la tendencia entre los años 1990 y 2003 del gas de alto horno tanto en su uso en hornos de coque como en el uso asignado en la componente *Hierro y acero* (1.A.2.a) ya que en dicho periodo, según los antecedentes del BNE, los consumos en hornos de coque disminuyeron casi a cero, mientras que los valores asignados a 1.A.2.a aumentaron considerablemente, tal como se aprecia en la Figura 42.
- Correcciones entre 2004 y 2008 respecto a la asignación del consumo de gas de alto horno en los hornos de coque. Esto debido a que entre esos años hay un notorio cambio en la asignación de consumo entre el uso de dicho gas entre hornos de coque y alto hornos. Se corrigió en base a antecedentes obtenido directamente desde e los BNE de esos años.

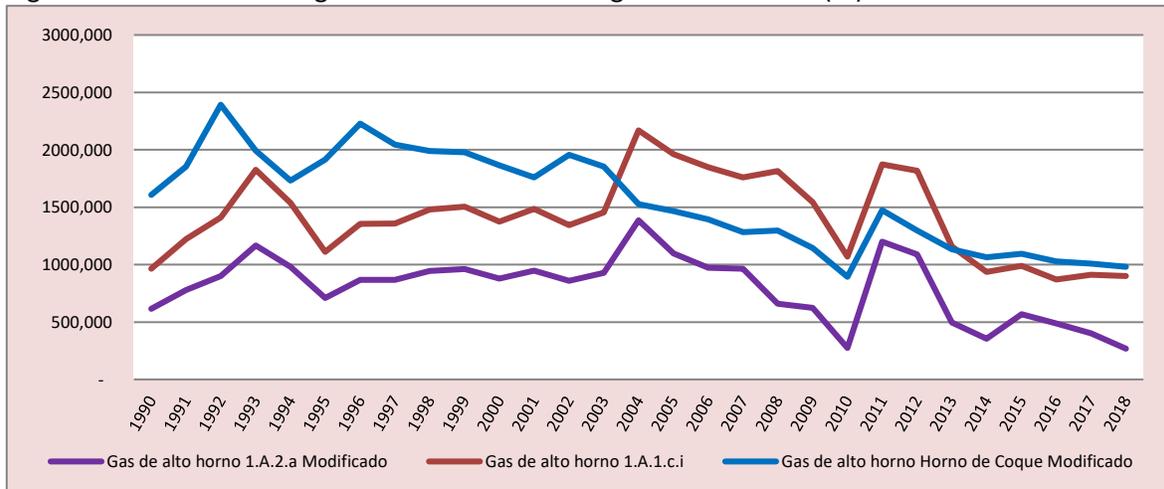
Figura 42. Tendencia de los consumos de gas de alto horno (TJ), datos originales



Fuente: Elaboración propia con base en BNE

Para resolver esto, se realizó la siguiente modificación: se extrapolaron los datos del consumo en Hierro y acero (1.A.2.a) desde 2003 hacia atrás en base a la tendencia del consumo de gas de alto horno en Manufactura de combustibles sólidos (1.A.1.c.i), dado que desde 2004 en adelante presentan tendencias similares hasta el 2018, junto con que esa serie se considera como un dato valido, respecto a los valores originales presentado en Hierro y acero (1.A.2.a). Con las modificaciones realizadas se obtienen las tendencias de la Figura 43.

Figura 43 Tendencia corregida de los consumos de gas de alto horno (TJ).



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Adicionalmente, desde 2012 se agregaron dos energéticos al BNE: gas de coque y coque de petróleo. Antes, el primero se sumaba a gas de fábrica y el segundo a coque mineral. Para esta versión se logró separar dichos consumos y presentarlos por separados para toda la serie histórica.

La inclusión de los combustibles que no son comunes en esta categoría (tales como gasolina para motor, querosenos, diésel, nafta y alquitrán) se deben a la asignación de dichos combustibles por parte de la refinería dentro de los consumos para la generación de otros productos. Esta información

no fue posible de descartar o bien reasignar para este proceso, pero se incluirá dentro del plan de mejora del próximo proceso de actualización.

3.2.8.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión de los combustibles utilizados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron los por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* Cuadro 2.2; Capítulo 2; Volumen 2.

3.2.8.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, se estimó para cada tipo de GEI. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 55.

Tabla 55. 1.A.1. Industrias de la energía: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------------|------------------|---|------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 1.A.1. | Industrias de la energía | CO ₂ | 1,0% | 1,0% | 5,0% | 5,0% | 5,0% | 5,0% |
| 1.A.1. | Industrias de la energía | N ₂ O | 1,0% | 1,0% | 70,0% | 230,0% | 70,0% | 230,0% |
| 1.A.1. | Industrias de la energía | N ₂ O | 1,0% | 1,0% | 70,0% | 230,0% | 70,0% | 230,0% |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Con respecto a los datos de actividad, el BNE de Chile no cuenta con una estadística sobre la exactitud e incertidumbre de los datos. Dado esto, el Equipo Técnico de Energía (quienes además elaboran el BNE) aplicó los valores de incertidumbre recomendados por las *Directrices del IPCC de 2006* que para “sistema estadístico menos desarrollado” y por “Encuesta” debería ser $\pm 1\%$ (Cuadro 2.15; Capítulo 2; Volumen 2). Tomando esta información como referencia y de acuerdo con los elaboradores del BNE se definió una incertidumbre del $\pm 1\%$ para todos los combustibles de esta subcategoría.

Con respecto a los factores de emisión, se usaron FE por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* por lo que se aplicaron valores de incertidumbre inferidos a partir de los valores superiores e inferiores reportados por las *Directrices del IPCC de 2006*. Para el CO₂ la incertidumbre usada es $\pm 5\%$ (Cuadro 2.2; Capítulo 2; Volumen 2), mientras que para CH₄ y N₂O fueron entre -70% y $+230\%$ (Cuadro 2.2; Capítulo 2; Volumen 2). Para estimarlos se calcularon los porcentajes que representan los valores superiores e inferiores con respecto al valor central para los principales combustibles usados en Chile. Luego se tomó el mayor valor y se truncaron los decimales.

3.2.8.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos, de acuerdo con lo presentado en la sección 3.2.8.3. La principal fuente de datos, el BNE, contiene variaciones

en su elaboración a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el Equipo Técnico de Energía ha tenido que realizar cambios y ajustes, los cuales se detallan en la sección 3.5.1.1.

3.2.8.6. Recálculos

3.2.8.6.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría se realizaron múltiples modificaciones, en donde la principal modificación ocurrió entre los años 1990 y 1994, en donde se reasignaron consumos de carbón que estaban asociados a autoprodutores a consumos para generación eléctrica, lo que implicó un incremento de emisiones respecto al INGEI2018. Otro de los cambios realizados corresponde a la incorporación del coque de petróleo, ya que en las versiones pasadas este combustible se sumaba al coque metalúrgico, calculando sus emisiones a partir de este último, lo cual generaba una sobre estimación dado que sus Factores de emisión son más elevados. Otro punto relevante es la incorporación del cálculo mediante Nivel 2 de las emisiones del coque metalúrgico en la categoría 1.A.1.c.i Manufactura de combustibles sólidos, mejora incorporada en esta actualización dado que se cuentan con todos los antecedentes necesario para su cálculo; este nuevo cálculo permitió corregir valores asociados al consumo de gas de alto horno tanto en horno de coque como alto horno entre los años 2004 y 2008, cambio realizado a través de los datos originales del BNE, ya que se pudo tener acceso a las planillas maestro de dichos años.

Otras modificaciones menores corresponden a lo siguiente:

- Interpolaciones para los años 2001 y 2012 para el consumo de fuelóleo en la subcategoría 1.A.1.c.i
- Interpolación de gas diésel para los años 2013 en el caso de la subcategoría 1.A.1.c.i y 2014 para 1.A.1.c.ii
- Incorporación del consumo de alquitrán para los años 1991 hasta 2005 proveniente de 1.A.2.a.

3.2.8.6.2. Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 56 y

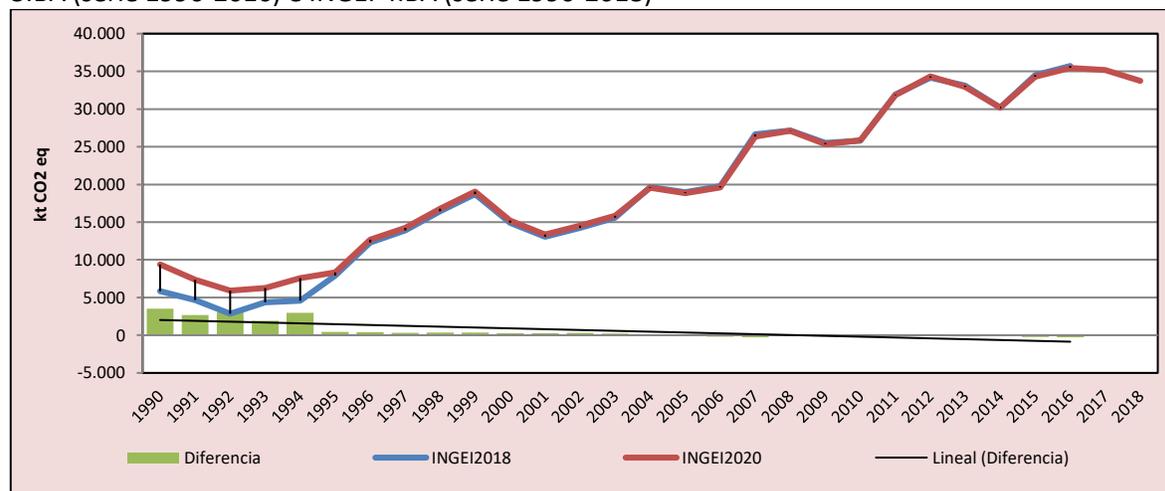
Figura 44 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia entre los resultados de ambos inventarios se debe a las reasignaciones de consumos de carbón en los primeros años de la serie, junto con considerar las características de coque de petróleo respecto a las del coque metalúrgico.

Tabla 56. 1.A.1. Industrias de la energía: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|----------------|--------------|-------------|---------------|---------------|----------|----------|
| INGEI2018 | 5.843,4 | 14.908,3 | 25.809,8 | 33.097,1 | 35.711,1 | | |
| INGEI2020 | 9.377,0 | 15.192,4 | 25.845,9 | 32.932,9 | 35.449,7 | 35.152,5 | 33.746,1 |
| Diferencia | 3.533,6 | 284,0 | 36,1 | -164,2 | -261,4 | | |
| Diferencia % | 37,7% | 1,9% | 0,1% | -0,5% | -0,7% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 44. 1.A.1. Industrias de la energía: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.9. Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2.)

3.2.9.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye las emisiones de GEI generadas por la quema de combustibles fósiles en la industria, incluyendo la quema para generación de electricidad y calor para el uso propio de estas industrias. Se excluyen las industrias del rubro energético consideradas en la subcategoría *Industrias de la energía*.

En la

Tabla 57 se presentan sus componentes y respectivamente los sectores del BNE que lo comprenden. En la sección de aspectos metodológicos se explica por qué hay componentes que no se consideran.

Tabla 57. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: componentes y supuestos relevantes

| Componente | Definiciones IPCC | Sector BNE | Observaciones |
|---|--|---------------------------------------|--|
| 1.A.2.a. Hierro y acero | Grupo 271 y Clase 2731 de la ISIC | Siderurgia | Incluye industrias y fundiciones que trabajan con hierro y acero |
| 1.A.2.c. Sustancias químicas | División 24 de la ISIC | Petroquímica | La fabricación de sustancias químicas y productos químicos, principalmente industria petroquímica, |
| 1.A.2.d. Pulpa, papel e imprenta | Divisiones 21 y 22 de la ISIC | Papel y celulosa | No incluye imprenta, solo producción de celulosa y papel. |
| 1.A.2.e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco | Divisiones 15 y 16 de la ISIC | Azúcar | Incluye solo la producción de azúcar. Las otras industrias de alimentos se reportan en Industrias varias. |
| 1.A.2.f. Minerales no metálicos | Incluye productos tales como porcelana, cemento, etc.; división 26 de la ISIC | Cemento | Incluye solo la industria del cemento. |
| 1.A.2.i. Minería (con excepción de combustibles) y cantería | Divisiones 13 y 14 de la ISIC | Cobre, Salitre, Hierro y Minas varias | Incluye las emisiones de la minería que se desarrolla en Chile (excepto la carbonífera) incluyendo la explotación, extracción y los procesos metalúrgicos asociados. |
| 1.A.2.m. Industria no especificada | Toda la industria manufacturera y de la construcción no incluida más arriba o para la que no hay datos disponibles por separado. | Industrias Varias | Incluye todas las industrias no incluidas en las categorías ya mencionadas. |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.9.2. Tendencia de las emisiones de GEI

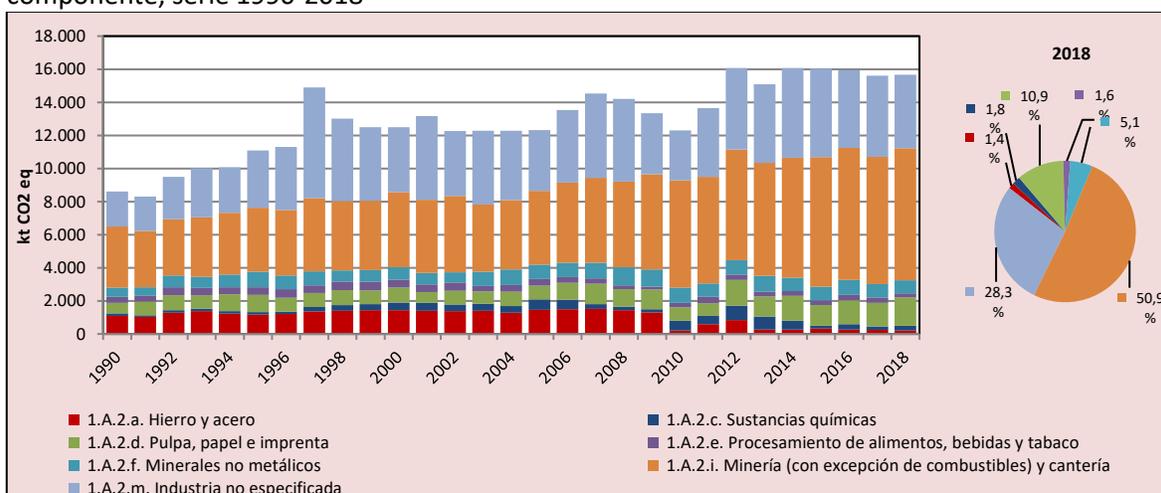
En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 15.672,8 kt CO₂ eq (representando el 18,0 % de las emisiones de GEI del sector Energía), incrementándose en un 82,0 % desde 1990, y decayendo en un 1,6 % desde 2016 (Tabla 58 y Figura 45). Las principales causantes de las variaciones interanuales se deben a la minería del cobre, la desaparición de algunas industrias por la competencia internacional y los costos de producción (azúcar y siderurgia), y la *industria no especificada* que por su definición tiene alta variabilidad.

Tabla 58. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.A.2.a. Hierro y acero | 1.094,2 | 1.429,0 | 215,3 | 259,2 | 272,1 | 246,3 | 214,1 |
| 1.A.2.c. Sustancias químicas | 141,7 | 472,1 | 585,7 | 795,9 | 324,2 | 202,5 | 286,4 |
| 1.A.2.d. Pulpa, papel e imprenta | 643,9 | 909,8 | 808,7 | 1.209,0 | 1.440,4 | 1.431,1 | 1.701,8 |
| 1.A.2.e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco | 364,4 | 471,3 | 263,9 | 286,0 | 328,3 | 333,3 | 249,2 |
| 1.A.2.f. Minerales no metálicos | 563,9 | 745,4 | 920,9 | 959,9 | 902,1 | 809,5 | 800,1 |
| 1.A.2.i. Minería (con excepción de combustibles) y cantería | 3.680,9 | 4.540,2 | 6.480,6 | 6.821,6 | 7.970,3 | 7.684,9 | 7.981,0 |
| 1.A.2.m. Industria no especificada | 2.123,8 | 3.924,7 | 3.029,9 | 4.761,4 | 4.694,8 | 4.905,4 | 4.440,3 |
| Total | 8.612,8 | 12.492,5 | 12.305,0 | 15.092,9 | 15.932,2 | 15.613,0 | 15.672,8 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 45. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

La principal industria en Chile es la minería la que a su vez representa el 51 % de las emisiones de la subcategoría *Industrias manufactureras y de la construcción* (1.A.2.), por lo que es importante conocer en detalle sus emisiones. Su tendencia ha ido al aumento, incrementando en un 116,8 % desde 1990 y un 0,1 % desde 2016 (Tabla 59 y

Figura 46). Se puede apreciar como la minería del cobre es la que tiene una mayor participación a lo largo de la serie, en donde a partir del 2010, su preponderancia va incrementándose hasta alcanzar en el 2018 un 73% de la participación entre las distintas actividades mineras. Dicho impulso se debe en mayor medida al aumento de la demanda por este producto, junto con un incremento en su precio, lo que permitió la incorporación de nuevos proyectos mineros en el país. Tanto las mineras de salitre como hierro se mantienen estables durante la serie, mientras que las minas varias

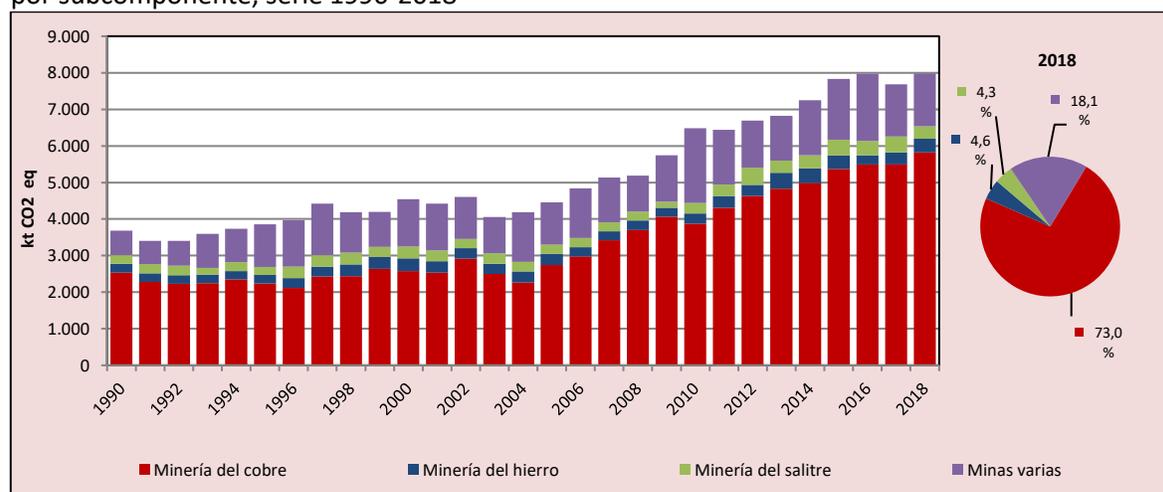
presentan mayores variabilidades, dado a que es una categoría que incluye varios tipos de minería (tales como Oro, Plata, Plomo, Arcillas, etc.), los cuales pudieron haber sufrido variaciones en el tiempo según los criterios de las personas encargadas de elaborar los BNE a lo largo de la serie.

Tabla 59. 1.A.2.i. Minería (con excepción de combustibles) y cantería: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcomponente, serie 1990-2018

| Subcomponente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Cobre | 2.535,8 | 2.574,3 | 3.875,2 | 4.829,6 | 5.494,8 | 5.495,3 | 5.824,4 |
| Salitre | 241,9 | 348,0 | 273,9 | 439,7 | 250,2 | 331,3 | 369,3 |
| Hierro | 236,9 | 320,5 | 291,2 | 323,6 | 390,6 | 429,0 | 340,8 |
| Minas varias | 666,3 | 1.297,3 | 2.040,3 | 1.228,7 | 1.834,6 | 1.429,3 | 1.446,4 |
| Total | 3.680,9 | 4.540,2 | 6.480,6 | 6.821,6 | 7.970,3 | 7.684,9 | 7.981,0 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 46. 1.A.2.i. Minería (con excepción de combustibles) y cantería: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcomponente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.9.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* (descrito en la sección 3.2.3. *supra*) usando datos de actividad desde el BNE y factores de emisión por defecto.

La Tabla 60 resume los métodos que se aplicaron para cada componente de la subcategoría. Para la elaboración de esta subcategoría se tomó la desagregación que se realiza en el BNE la que solo incluye algunos de los componentes propuestos por las *Directrices del IPCC de 2006*. Sin embargo, de acuerdo con los elaboradores del BNE se estableció que las categorías no desagregadas están

incluidas en *Industria no especificada* y en el caso de los *Metales no ferrosos* se consideran dentro de *Minería*.

Tabla 60. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: métodos aplicados por componente

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE |
| 1.A.2.a. Hierro y acero | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.2.b. Metales no ferrosos | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 1.A.2.c. Sustancias químicas | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.2.d. Pulpa, papel e imprenta | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.2.e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.2.f. Minerales no metálicos | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.2.g. Equipo de transporte | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 1.A.2.h. Maquinaria | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 1.A.2.i. Minería (con excepción de combustibles) y cantería | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.2.j. Madera y productos de la madera | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 1.A.2.k. Construcción | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 1.A.2.l. Textiles y cueros | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 1.A.2.m. Industria no especificada | T1 | D | T1 | D | T1 | D |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de planillas Excel.

3.2.9.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Todos los datos de actividad de la subcategoría provienen de los BNE de las series anuales desde 1990 hasta 2018. La Tabla 61 y Tabla 62 presentan los valores correspondientes por tipo de combustible. En el ANEXO 06.02 se encuentran los datos desagregados por componente.

Tabla 61. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2018 (1 de 2)

| Años | Gasolina para motor | Gasolina para la aviación | Queroseno para motor a reacción | Otro queroseno | Gas/Diésel oil | Fuelóleo residual | Gases licuados de petróleo | Nafta | Gas de refinería |
|------|---------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------------------|----------|------------------|
| | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ |
| 1990 | - | - | - | 2.088,17 | 28.435,62 | 40.133,35 | 2.363,87 | 43,75 | 19,89 |
| 1991 | - | - | - | 2.601,26 | 25.582,98 | 39.255,40 | 2.415,36 | 51,71 | 19,89 |
| 1992 | - | - | - | 2.239,31 | 27.491,25 | 44.986,98 | 2.841,16 | 59,66 | 31,82 |
| 1993 | - | - | - | 2.481,94 | 29.925,45 | 48.614,42 | 4.062,03 | 151,14 | 27,84 |
| 1994 | - | - | - | 1.849,52 | 31.855,97 | 52.803,75 | 3.530,73 | 234,67 | 27,84 |
| 1995 | - | - | - | 2.664,90 | 37.549,83 | 58.159,14 | 4.563,19 | 449,45 | 23,86 |
| 1996 | - | - | - | 6.523,03 | 44.026,72 | 48.746,70 | 4.789,28 | 182,96 | 27,84 |
| 1997 | - | - | - | 6.029,83 | 51.609,63 | 51.579,45 | 5.621,28 | 580,71 | 26,09 |
| 1998 | - | - | - | 5.866,75 | 48.216,86 | 43.873,52 | 9.231,89 | 652,30 | 27,84 |
| 1999 | - | - | - | 2.700,70 | 46.502,57 | 38.698,84 | 7.347,83 | 1.905,20 | - |
| 2000 | - | - | - | 2.398,41 | 45.654,49 | 38.374,34 | 6.435,95 | 270,47 | - |
| 2001 | - | - | - | 1.964,87 | 55.903,67 | 28.862,62 | 4.649,86 | 246,60 | 23,86 |
| 2002 | - | - | - | 1.622,80 | 53.413,52 | 24.682,03 | 6.088,56 | 250,58 | 23,86 |
| 2003 | - | - | - | 1.471,66 | 55.333,83 | 25.118,38 | 5.500,18 | 131,26 | 23,86 |
| 2004 | - | - | - | 1.063,44 | 59.063,02 | 19.830,65 | 5.617,90 | 74,97 | 19,00 |
| 2005 | - | - | 0,01 | 999,92 | 58.638,50 | 21.686,86 | 6.469,81 | 55,15 | 14,59 |
| 2006 | - | - | - | 1.043,65 | 73.369,79 | 25.068,51 | 6.863,96 | 9,27 | 0,02 |
| 2007 | - | - | - | 1.210,81 | 85.624,96 | 38.208,50 | 12.703,93 | 22,77 | 12,91 |
| 2008 | - | - | - | 1.137,37 | 87.055,26 | 40.768,04 | 13.033,13 | 69,68 | 12,23 |
| 2009 | - | - | - | 1.611,07 | 86.297,08 | 32.444,69 | 12.231,08 | - | 13,23 |
| 2010 | - | - | 930,13 | 1.289,35 | 82.181,00 | 27.377,01 | 12.871,12 | - | 8,88 |
| 2011 | 98,90 | 2,03 | 579,41 | 689,18 | 95.055,01 | 33.663,04 | 9.652,44 | 2,37 | 0,02 |
| 2012 | - | 2,09 | 608,52 | 1.039,91 | 115.278,54 | 33.598,12 | 12.580,31 | - | - |
| 2013 | - | 0,98 | 1.454,26 | 619,95 | 109.934,61 | 28.700,38 | 11.607,50 | - | - |
| 2014 | - | 24,47 | 5.634,51 | 1.030,62 | 117.029,03 | 27.191,21 | 19.142,77 | - | 0,01 |
| 2015 | - | 31,58 | 2.798,50 | 630,25 | 121.675,10 | 23.481,95 | 11.620,46 | - | - |
| 2016 | - | 27,27 | 1.730,73 | 443,00 | 125.357,51 | 18.843,17 | 11.385,19 | - | - |
| 2017 | - | 28,64 | 1.654,40 | 503,94 | 122.520,00 | 17.008,40 | 12.383,93 | - | - |
| 2018 | - | 21,87 | 1.577,72 | 578,80 | 121.685,13 | 19.162,96 | 12.206,49 | - | - |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 62. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2018 (2 de 2)

| Años | Otros productos del petróleo | Otro carbón bituminoso | Coque para horno de coque | Gas de fábrica de gas | Gas de alto horno | Gas natural | Madera y desechos de madera | Otro biogás | Coque de Petróleo |
|------|------------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-------------------|
| | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ |
| 1990 | 604,57 | 18.799,34 | 7.056,01 | 2.498,26 | 615,79 | 2.751,58 | 31.779,91 | - | - |
| 1991 | 409,68 | 18.187,03 | 6.483,26 | 3.233,04 | 780,12 | 2.141,11 | 39.193,89 | - | - |
| 1992 | 624,46 | 21.377,17 | 8.265,16 | 3.598,55 | 900,51 | 2.626,40 | 49.046,06 | - | - |
| 1993 | 731,85 | 19.571,40 | 8.535,63 | 4.065,80 | 1.167,77 | 2.569,88 | 34.500,49 | - | 465,36 |
| 1994 | 1.077,89 | 15.292,08 | 7.314,55 | 4.039,42 | 982,37 | 2.891,09 | 35.932,37 | - | 2.577,39 |
| 1995 | 938,68 | 15.013,87 | 7.175,34 | 4.160,00 | 710,29 | 2.734,91 | 39.512,09 | - | 4.148,49 |
| 1996 | 1.010,27 | 18.065,62 | 7.016,24 | 4.303,19 | 866,80 | 2.802,54 | 42.391,77 | - | 2.553,53 |
| 1997 | 1.227,21 | 38.739,66 | 8.199,93 | 3.945,60 | 866,84 | 16.489,80 | 36.058,22 | - | 1.738,15 |
| 1998 | 1.244,94 | 23.494,06 | 9.545,90 | 3.651,31 | 946,26 | 17.461,97 | 42.761,04 | - | 1.491,55 |
| 1999 | 1.229,04 | 23.935,56 | 11.208,48 | 3.579,71 | 960,70 | 20.028,06 | 47.844,23 | - | 353,99 |
| 2000 | 1.400,07 | 20.437,10 | 8.857,80 | 3.628,70 | 878,84 | 35.993,34 | 57.035,01 | - | 55,68 |
| 2001 | 1.205,17 | 27.261,23 | 9.096,45 | 3.662,61 | 948,66 | 37.847,55 | 54.416,90 | - | 186,94 |
| 2002 | 1.594,96 | 21.110,05 | 9.036,79 | 3.447,83 | 859,58 | 40.290,33 | 56.850,23 | - | 95,46 |
| 2003 | - | 18.218,12 | 10.015,24 | 3.794,50 | 929,40 | 41.385,56 | 46.718,61 | - | 1.125,62 |
| 2004 | - | 19.897,80 | 6.689,85 | 3.128,81 | 1.386,19 | 45.561,37 | 57.842,58 | - | 1.254,35 |
| 2005 | 2.022,22 | 17.390,72 | 8.976,41 | 3.140,47 | 1.098,65 | 41.390,18 | 66.493,97 | - | 1.679,64 |
| 2006 | 2.199,03 | 17.567,76 | 9.616,98 | 3.359,80 | 972,62 | 38.062,27 | 71.274,88 | - | 959,56 |
| 2007 | 2.069,84 | 17.238,26 | 9.929,19 | 3.148,91 | 963,07 | 14.187,92 | 80.478,95 | - | 1.205,32 |
| 2008 | 2.053,77 | 15.608,33 | 9.774,04 | 2.821,97 | 659,66 | 6.056,74 | 85.312,58 | - | 1.848,65 |
| 2009 | 1.778,19 | 8.346,57 | 8.655,22 | 2.672,54 | 624,02 | 8.760,20 | 86.021,50 | - | 7.590,12 |
| 2010 | - | 9.745,03 | 715,90 | 1.974,95 | 275,65 | 20.434,72 | 75.687,74 | - | 6.506,32 |

| Años | Otros productos del petróleo | Otro carbón bituminoso | Coque para horno de coque | Gas de fábrica de gas | Gas de alto horno | Gas natural | Madera y desechos de madera | Otro biogás | Coque de Petróleo |
|------|------------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-------------------|
| | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | |
| 2011 | - | 8.752,51 | 599,35 | 2.618,97 | 1.199,87 | 19.115,61 | 90.943,86 | - | 6.925,63 |
| 2012 | - | 7.373,49 | 3.397,25 | 2.462,48 | 1.088,46 | 27.935,80 | 91.952,59 | - | 7.795,74 |
| 2013 | - | 7.507,80 | 804,12 | 2.705,61 | 496,67 | 29.255,72 | 96.808,14 | - | 9.471,00 |
| 2014 | - | 10.252,85 | 284,88 | 2.122,00 | 355,68 | 24.939,36 | 106.051,01 | 70,98 | 7.891,94 |
| 2015 | - | 10.617,92 | 786,47 | 2.194,16 | 568,99 | 33.308,43 | 103.079,65 | - | 8.029,54 |
| 2016 | - | 9.384,94 | 871,60 | 2.409,16 | 487,47 | 36.357,44 | 104.848,79 | - | 8.357,28 |
| 2017 | - | 8.999,41 | 833,83 | 2.298,66 | 402,91 | 38.241,04 | 103.202,78 | - | 7.654,99 |
| 2018 | - | 6.647,09 | 1.305,86 | 2.443,50 | 268,27 | 41.289,50 | 106.124,30 | 27,67 | 7.553,53 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

La principal fuente de datos para esta subcategoría es el BNE; sin embargo, fue necesario usar información adicional para desagregar la autogeneración por industria, ya que en el BNE es parte de la generación eléctrica. Para esto se recurrió a la base de datos confidenciales que se encuentran en las planillas con las cuales se elabora el BNE, en donde se posee una mayor desagregación.

Según información del BNE, en Chile se usan ocho combustibles para la autogeneración; dentro de estos, la biomasa, gas de refinera, carbón, gas licuado y gas de fábrica son utilizados por solo una industria cada uno, por lo que se asignan directamente. Por otra parte, el diésel, gas natural y fuelóleo son usados por variadas industrias, por lo que se deben desagregar con información adicional que solo se posee para la serie 2000-2018, y se extrapola hasta 1990. Para esto último, se calcularon los factores de desagregación por combustible para los datos disponibles (2000-2018), se analizó la estabilidad de los datos, los cuales no poseen grandes fluctuaciones, y se promedió para obtener un factor que se utilizó en el resto de la serie (Tabla 63).

Tabla 63. 1.A.2. Industria manufacturera y de la construcción: factores para desagregación de Autoprodutores entre 1990-1999

| Sector del BNE | Diésel | Gas natural | Fuelóleo |
|-----------------------------|--------|-------------|----------|
| Industrial y Minero : | 89,7% | 38% | 93% |
| Cobre : | 16,7% | 1% | 45% |
| Salitre : | 8,6% | 0% | 1% |
| Hierro : | 3,0% | 0% | 0% |
| Papel Y Celulosa : | 5,0% | 13% | 39% |
| Siderurgia : | 0,5% | 0% | 0% |
| Petroquímica : | 0,9% | 23% | 0% |
| Cemento : | 1,6% | 0% | 3% |
| Azúcar : | 0,0% | 0% | 0% |
| Pesca : | 11,8% | 0% | 0% |
| Industrias Varias : | 25,8% | 1% | 3% |
| Minas Varias : | 9,7% | 0% | 1% |
| Centros De Transformación : | 10,3% | 62% | 7% |
| Electricidad : | 0,0% | 0% | 7% |
| Gas y Coque : | 0,1% | 0% | 0% |
| Petróleo y Gas Natural : | 10,0% | 42% | 0% |
| Gas Natural - Metanol | 0,2% | 19% | 0% |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en BNE 2000-2018

Los consumos para autogeneración se sumaron a los consumos directos reportados por las diversas industrias incluyendo industria energética, manufacturera, minería y pesca. La industria petroquímica incluye la producción de metanol, que utiliza gas natural para su elaboración, en donde se reporta que el 100 % de su uso es no energético; sin embargo, de acuerdo con los últimos reportes de la empresa productora, una parte se utiliza para consumo propio. Este consumo se

empieza a ver reflejado desde el BNE del 2013. Para mantener una coherencia temporal, este consumo se extiende para toda la serie otorgándole un factor del 6 %. Este factor fue definido en el INGEI 1IBA basado en comunicaciones con la empresa y coincide con el porcentaje reportado en los BNE desde 2013 a la fecha.

Otro cambio realizado a los datos del BNE fue la desagregación de minas varias entre 1990-1996. En este período se reportó el consumo de minas varias dentro de industrias varias. Para esto se sumaron las categorías de *Minas varias* e *Industrias varias* por combustible para los años entre 1997-2011, calculando un factor de proporción y promediándolo para obtener un factor el que se aplicó entre 1990-1996. Dichos factores se presentan en la Tabla 64:

Tabla 64 1.A.2. Industria manufacturera y de la construcción: factores para desagregación de Industrias varias y minas Varias entre 1990-1996.

| Energéticos | Industrias varias | Minas varias |
|------------------------|-------------------|--------------|
| Diésel | 61% | 39% |
| Petróleos Combustibles | 78% | 22% |
| Querosene | 83% | 17% |
| Gas Licuado | 98% | 2% |
| Nafta | 85% | 15% |
| Gas de Refinería | 100% | 0% |
| Carbón | 96% | 4% |
| Coque | 100% | 0% |
| Alquitrán | 91% | 9% |
| Gas Corriente | 100% | 0% |
| Gas Natural | 94% | 6% |
| Metanol | 100% | 0% |
| Leña y Biomasa | 100% | 0% |

3.2.9.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión de los combustibles usados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron casi en su totalidad factores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, Cuadro 2.3; Capítulo 2; Volumen 2.

La única excepción es el metanol, ya que en Chile se utiliza como un energético y no así en las *Directrices del IPCC de 2006*. Este fue clasificado como *Otros productos del petróleo* según la lista de combustibles de las *Directrices del IPCC de 2006* pero con un factor de emisión distinto. Este se calculó utilizando el peso molecular del metanol (CH₃OH) y su poder calorífico siguiendo el siguiente procedimiento:

Ecuación 4. Industrias manufactureras y de la construcción: factor de emisión del metanol

$$FE_{CH_3OH} = \text{Contenido de Carbono}_{CH_3OH} \left[\frac{kg}{TJ} \right] \times \text{factor de oxidación}_{CH_3OH} \times \frac{\text{Peso molecular}_{CO_2}}{\text{Peso molecular}_C}$$

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 1.4; Capítulo 1; Volumen 2)

Ecuación 5. Industrias manufactureras y de la construcción: contenido de carbono del metanol

$$\text{Contenido de Carbono}_{CH_3OH} \left[\frac{kg}{TJ} \right] = \frac{\text{Peso molecular}_c}{\text{Peso molecular}_{CH_3OH}} \div \text{Poder calorífico} \left[\frac{TJ}{Gg} \right] \times 1.000.000 [kg/Gg]$$

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 1.4; Capítulo 1; Volumen 2)

Donde:

- $FE_{CH_3OH} = 63.864,40 \left[\frac{kg}{TJ} \right]$
- $\text{factor de oxidación}_{CH_3OH} = 1$
- $\text{Peso molecular}_{CO_2} = 44$
- $\text{Peso molecular}_c = 12$
- $\text{Peso molecular}_{CH_3OH} = 32$
- $\text{Poder calorífico inferior}^{51} = 21,53 \left[\frac{TJ}{Gg} \right]$
- $\text{Contenido de Carbono}_{CH_3OH} = 17.417,56 \left[\frac{kg}{TJ} \right]$

3.2.9.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, se estimó para cada tipo de combustible y para cada GEI. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 65.

Tabla 65. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: resumen de la incertidumbre combinada, 2016

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--|------------------|---|------|---------------------------------------|------|-------------------------|------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 1.A.2. | Industrias manufactureras y de la construcción | CO ₂ | 1% | 5% | 5% | 5% | 5% | 7% |
| 1.A.2. | Industrias manufactureras y de la construcción | CH ₄ | 1% | 5% | 70% | 70% | 70% | 70% |
| 1.A.2. | Industrias manufactureras y de la construcción | N ₂ O | 1% | 5% | 70% | 70% | 70% | 70% |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Con respecto a los datos de actividad para esta categoría, el BNE no cuenta con una estadística sobre la exactitud e incertidumbre de los datos generados. Dado esto, el Equipo Técnico de Energía (también elaboradores del BNE) aplicó los valores de incertidumbre recomendados por las *Directrices del IPCC de 2006* que para un “sistema estadístico menos desarrollado” y por “Encuesta”, que debiese ser entre $\pm 2\%$ y $\pm 3\%$ para industrias de alto consumo energético y entre $\pm 10\%$ y $\pm 15\%$

⁵¹ Valor obtenido a partir de los antecedentes del BNE el cual asigna un poder calorífico superior de 5.413 kcal/kg.

para otras (Cuadro 2.15, Capítulo 2, Volumen 2). Se estableció una incertidumbre de $\pm 5\%$ para toda la subcategoría a excepción de los datos de actividad de consumo de Biomasa, que se asignó en un $\pm 50\%$.

Con respecto a los factores de emisión, se usaron FE por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. Dado esto, se aplicaron valores de incertidumbre inferidos a partir de los valores superiores e inferiores reportados por las *Directrices del IPCC de 2006*. Para el CO_2 la incertidumbre usada es $\pm 5\%$ (Cuadro 2.3; Capítulo 2; Volumen 2), mientras que para CH_4 y N_2O fueron -70% y $+230\%$ (Cuadro 2.3; Capítulo 2; Volumen 2). Para estimarlos se calcularon los porcentajes que representan los valores superiores e inferiores con respecto al valor central para los principales combustibles usados en Chile. Luego se tomó el mayor valor y se truncaron los decimales. Se asumió que el metanol también tiene esta incertidumbre.

3.2.9.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos, de acuerdo con lo presentado en la sección 3.2.9.3. La principal fuente de datos, el BNE, contiene variaciones en su elaboración a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el Equipo Técnico de Energía ha tenido que realizar cambios y ajustes, los cuales se detallan en la sección 3.5.1.2.

3.2.9.6. Recálculos

3.2.9.6.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Los principales cambios de esta subcategoría corresponden a los siguientes puntos, que con principalmente mejoras sugeridas por el equipo externo revisor del INGEI2018:

- Modificación en el consumo de biomasa en *Industria no especificada* (1.A.2.m) desde el 2013 en adelante a partir de una extrapolación logarítmica de los datos hasta el 2012. Se decide realizar una extrapolación logarítmica dado que la tendencia de datos hasta esa fecha parece seguir una curva con dichas características. A diferencia de otras extrapolaciones, en este se decide no seguir con la tendencia de los datos originales ya que presentan variabilidades muy elevadas, muy por sobre la variabilidad de los años anteriores.
- Modificación en el autoconsumo de *Pulpa, papel e imprenta* (1.A.2.d) desde el 2012 en adelante, siguiendo la trayectoria de los datos del BNE pero desde el valor de inicio 2012. Esto se corrige ya que a partir del 2013 los valores asociados a este consumo se sextuplican respecto al año anterior, incremento que no tiene justificación según los antecedentes recopilados.
- Asignación de los consumos de coque metalúrgico a coque de petróleo para la componente *Minerales no metálicos* (1.A.2.f) en toda la serie, ya que, según lo declarado en el BNE dentro de sus valores históricos, es ese tipo de coque el utilizado dentro de dicha industria.
- Corrección en la tendencia del consumo de gas de alto horno en *Hierro y acero* (1.A.2.a) entre 1990 y 2003, a raíz del nuevo cálculo realizado en *Industrias de la energía* (1.A.1). Esto se debe a que el balance de masas para ese periodo con los valores originales del BNE daba valores negativos, lo cual no puede ocurrir. Esto se debía a que en dicho periodo el consumo de gas de alto horno en los hornos de coque se reducía casi a valores nulos, mientras que el consumo asociado a la siderurgia se duplica en este periodo en base al resto de la serie, por

lo que se reasignaron consumos en base a la diferencia entre la extrapolación realizada a partir del año 2003 en esa *Hierro y acero* (1.A.2.a) y los valores originales.

- Corrección en los consumos de carbón entre los años 1990 y 1994 para el autoconsumo de la componente *Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco* (1.A.2.e), asociado a la industria del azúcar, debido a valores fuera de rango dentro de ese periodo. Se corrige mediante una extrapolación lineal.
- Correcciones varias en la componente *Minería* (1.A.2.i) en donde se interpolaron valores para casos en que o no había datos o bien los valores generaban ruidos en la tendencia (cómo máximos fuera de lo común). Esto se realizó para los siguientes casos:
 - *Minería* (1.A.2.i): Corrección del consumo de diésel y carbón bituminoso para los años 2012 y 2013 interpolando valores entre 2011 y 2014. Además, se corrigió el consumo de gas natural en el año 2010 en base a interpolación de los años 2011 y 2012 y el de fuelóleo para el año 2009 ya que tenía valor nulo.
 - *Sustancias químicas* (1.A.2.c): interpolación del consumo de gas natural para el año 2005 entre los años 2004 y 2006.
- Consumo de alquitrán entre 1991 y 2005 se reasigna de *Hierro y acero* (1.A.2.a) *Manufactura de combustibles sólidos* (1.A.1.c.i) en base a recomendación de revisión experta.

3.2.9.6.2. Implicaciones para los niveles de emisión

Como se observa en la Tabla 66 y

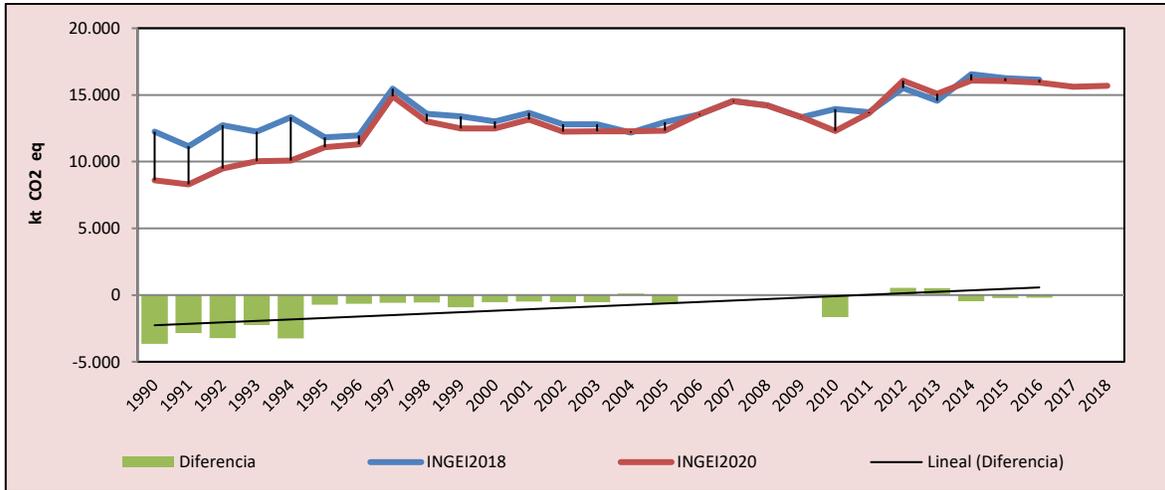
Figura 47, el nivel de emisiones de esta subcategoría disminuyó en el INGEI 4IBA con respecto al INGEI 3IBA, en especial entre los años 1990 y 1994, debido a la corrección de valores de autoconsumo para la industria del azúcar. El resto de las variaciones se explican por los motivos descritos en el punto 3.5.1.2.1.

Tabla 66. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| Categoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| INGEI2018 | 12.261,5 | 13.012,7 | 13.948,7 | 14.569,1 | 16.129,2 | | |
| INGEI2020 | 8.612,8 | 12.492,5 | 12.305,0 | 15.092,9 | 15.932,2 | 15.613,0 | 15.672,8 |
| Diferencia | -3.648,8 | -520,2 | -1.643,7 | 523,8 | -197,0 | | |
| % | -42,4% | -4,2% | -13,4% | 3,5% | -1,2% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 47. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.10. Transporte (1.A.3.)

3.2.10.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye las emisiones de GEI generadas por la quema de combustibles fósiles en todas las actividades del transporte nacional (aéreo, terrestre, ferrocarriles, navegación, etc.), excluyendo el transporte militar y el transporte internacional (marítimo y aéreo), que se reportan por separado (ver sección 3.2.6. *Combustible del transporte internacional*).

Para el caso del INGEI de Chile adicionalmente se excluye el combustible utilizado en transporte “dentro de la faena”, el cual es considerado como consumo dentro de cada industria respectiva o institución dado que el BNE solo permite en estos casos distinguir el consumo por sector y no por uso final. En la Tabla 67 se presentan sus componentes y respectivamente los sectores del BNE que lo comprenden.

Tabla 67. 1.A.3. Transporte: componentes y sus supuestos relevantes

| Componente | Definición IPCC | Sector BNE | Observaciones |
|--|--|----------------------|---|
| 1.A.3.a. Aviación nacional | Emisiones de tráfico civil de pasajeros y de carga con salida y llegada en el mismo país. Excluye militares | Transporte aéreo | Incluye el combustible reportado en el BNE descontando el Jet querosene reportado por Aduana como consumo tanques internacionales. |
| 1.A.3.b. Transporte terrestre | Quema y evaporación del uso de combustibles en vehículos terrestres, incluido el uso de vehículos agrícolas sobre carreteras pavimentadas. | Transporte terrestre | Basado en la oferta de distribuidoras de combustible para vehículos terrestres de gasolina para motor y Diésel |
| 1.A.3.b.i.1. Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales | Emisiones de automóviles para pasajeros (máx. 12 personas) con catalizadores | Transporte terrestre | Proporción equivalente a consumo de Automóviles, <i>station wagon</i> , taxi básico, taxi colectivo y taxi turismo inscritos después del 1 de septiembre de 1994. |
| 1.A.3.b.i.2. Automóviles de pasajeros sin catalizadores tridireccionales | Emisiones de automóviles para pasajeros (máx. 12 personas) sin catalizadores | Transporte terrestre | Proporción equivalente a consumo de Automóviles, <i>station wagon</i> , taxi básico, taxi colectivo y taxi turismo inscritos antes del 1 de septiembre de 1994 |
| 1.A.3.b.ii.1. Camiones para servicio ligero con catalizadores tridireccionales | Emisiones de vehículos de carga o equipados (peso entre 3500 y 3900 kg) con catalizadores | Transporte terrestre | Proporción equivalente a consumo de Furgones, minibús, camioneta, otros con motor (casa rodante), taxibus, y furgón escolar y de trabajadores inscritos después del 1 de septiembre de 1994. |
| 1.A.3.b.ii.2. Camiones para servicio ligero sin catalizadores tridireccionales | Emisiones de vehículos de carga o equipados (peso bruto entre 3500 y 3900 kg) sin catalizadores | Transporte terrestre | Proporción equivalente a consumo de Furgones, minibús, camioneta, otros con motor (casa rodante), taxibus, y furgón escolar y de trabajadores inscritos antes del 1 de septiembre de 1994. |
| 1.A.3.b.iii. Camiones para servicio pesado y autobuses | Emisiones de vehículos de carga o equipados (peso bruto más de 3500 kg) y autobuses para más de 12 personas. | Transporte terrestre | Proporción equivalente a consumo de Bus, Bus escolar o trabajadores, ómnibus, microbús, camión simple (incluyendo furgón de más de 3.500 kg, tractocamión (camión chasis) y maquinaria especializada. |
| 1.A.3.b.iv. Motocicletas | Vehículo motorizado con no más de 3 ruedas y que pese menos de 680 kg. | Transporte terrestre | Proporción equivalente a consumo de Motocicletas |

| Componente | Definición IPCC | Sector BNE | Observaciones |
|----------------------------------|--|------------------------|---|
| 1.A.3.c. Ferrocarriles | Emisiones del transporte por ferrocarriles, tanto en rutas de tráfico de carga como de pasajeros. | Transporte ferroviario | Incluye transporte ferroviario tanto para pasajeros como para carga sin embargo el consumo de metro está incluido en el total de transporte terrestre |
| 1.A.3.d. Navegación nacional | Emisiones de barcos de todas las banderas que salen y llegan dentro de un mismo país (excluye la pesca y viajes militares). | Transporte marítimo | Incluye el combustible reportado en el BNE menos el Diésel y el fuelóleo reportado por Aduana como consumo de tanques internacionales. |
| 1.A.3.e. Otro tipo de transporte | Incluye transporte por tuberías, actividades en puertos y aeropuertos y rutas no pavimentadas que no se hayan declarado anteriormente. | Transporte terrestre | Incluye la proporción del diésel y la gasolina para motor reportado en el BNE como transporte terrestre equivalente al consumo del parque vehicular de vehículos todo terreno o jeep. Los otros combustibles reportados en el BNE como consumo de transporte terrestre se asignaron arbitrariamente a esta categoría. |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

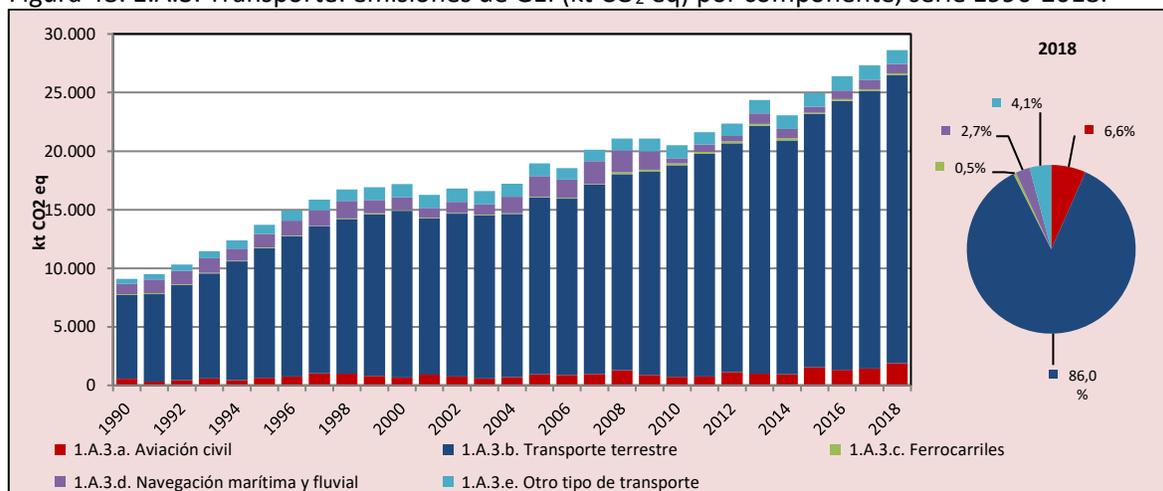
3.2.10.2. Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría *Transporte* es la segunda principal subcategoría emisora del sector Energía, representando el 32,9 % de las emisiones de GEI del sector; y la segunda principal fuente individual de emisiones a nivel nacional, representando el 25,2 % de las emisiones de GEI totales del país (excluyendo UTCUTS). En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 28.614,7 kt CO₂ eq, incrementándose en un 214,5 % desde 1990 y en un 8,4 % desde 2016 (Tabla 68 y Figura 48). La principal causante del incremento sostenido en el tiempo es debido al crecimiento del parque automotor inducido por la expansión de la población, el mayor poder adquisitivo y el mejoramiento de la infraestructura vial en el país.

Tabla 68. 1.A.3. Transporte: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.A.3.a. Aviación civil | 567,8 | 682,7 | 740,1 | 998,5 | 1.312,0 | 1.420,7 | 1.901,7 |
| 1.A.3.b. Transporte terrestre | 7.150,9 | 14.218,3 | 18.049,0 | 21.174,2 | 22.965,7 | 23.716,6 | 24.600,4 |
| 1.A.3.c. Ferrocarriles | 64,2 | 63,8 | 152,6 | 151,0 | 153,4 | 148,4 | 149,3 |
| 1.A.3.d. Navegación marítima y fluvial | 880,5 | 1.079,0 | 434,9 | 889,2 | 745,1 | 817,2 | 778,8 |
| 1.A.3.e. Otro tipo de transporte | 436,2 | 1.150,7 | 1.136,6 | 1.139,8 | 1.223,1 | 1.230,8 | 1.184,5 |
| Total | 9.099,6 | 17.194,6 | 20.513,1 | 24.352,7 | 26.399,2 | 27.333,6 | 28.614,7 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 48. 1.A.3. Transporte: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018.

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

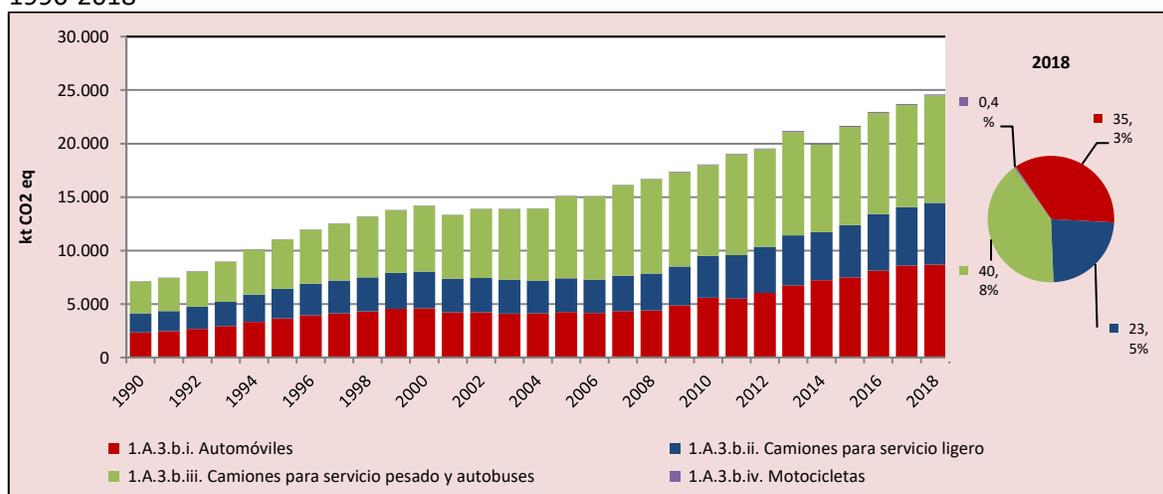
Como *Transporte terrestre* es el componente principal de la subcategoría, fue desagregado por subcomponentes (Tabla 69 y Figura 49). Los principales subcomponentes corresponden a los automóviles y camiones para servicio pesado, quienes en conjunto superan el 70% de las emisiones de esta componente a lo largo de la serie.

Tabla 69. 1.A.3.b. Transporte terrestre: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcomponente, serie 1990-2018

| Subcomponente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.A.3.b.i. Automóviles | 2.344,1 | 4.605,7 | 5.582,6 | 6.751,8 | 8.130,4 | 8.589,8 | 8.687,5 |
| 1.A.3.b.ii. Camiones para servicio ligero | 1.789,2 | 3.437,8 | 3.920,8 | 4.673,6 | 5.278,4 | 5.493,2 | 5.778,5 |
| 1.A.3.b.iii. Camiones para servicio pesado y autobuses | 2.989,5 | 6.151,7 | 8.488,9 | 9.673,6 | 9.465,1 | 9.539,5 | 10.040,2 |
| 1.A.3.b.iv. Motocicletas | 28,2 | 23,1 | 56,7 | 75,2 | 91,7 | 94,1 | 94,2 |
| Total | 7.150,9 | 14.218,3 | 18.049,0 | 21.174,2 | 22.965,7 | 23.716,6 | 24.600,4 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 49. 1.A.3.b. Transporte terrestre: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcomponente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

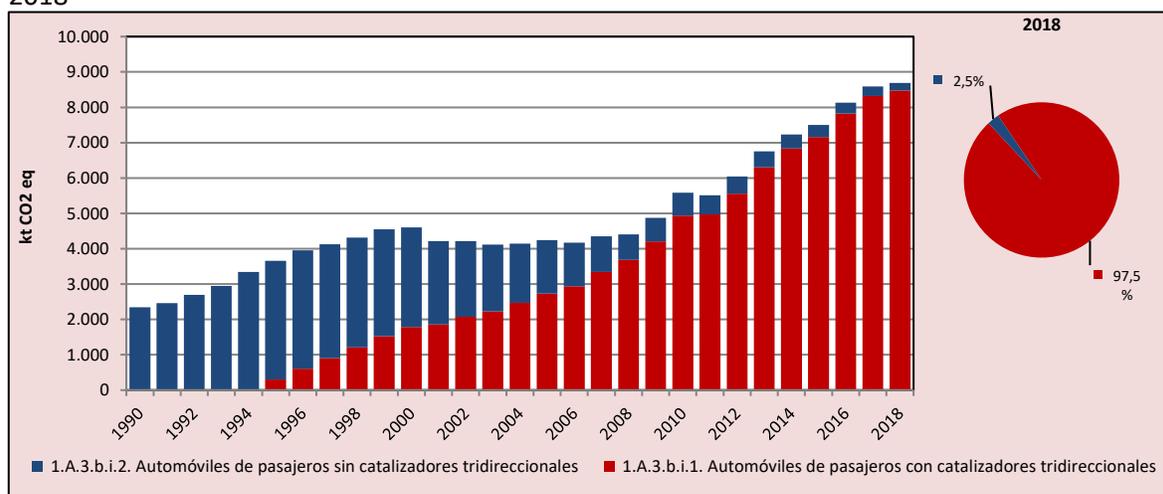
Se observa el cambio en la participación de los catalizadores en los subcomponentes *Automóviles* (Tabla 70 y Figura 50) y *Camiones para servicio ligero* (Tabla 71 y Figura 51) que comienza en 1994 con la introducción del Decreto 55 del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. Cabe destacar que en motores de gasolina el efecto de los catalizadores en las emisiones de GEI varía dependiendo del GEI. En general las emisiones de CO₂ se mantienen, mientras que las de CH₄ disminuyen y las de N₂O aumentan. Respecto a la tendencia global de la Figura 50, se aprecia que entre los años 2000 y 2010 se mantiene plano, debido al recambio vehicular ocurrido en dicho periodo, en donde el recambio tecnológico no solo afectó la entrada de catalizadores en los vehículos, sino que vino acompañada con una mejora en el rendimiento del parque vehicular, influyendo en la disminución de emisiones por el menor consumo de combustibles; Por otra parte, posterior al 2010 se presenta una alza de emisiones hasta el 2018, debido principalmente a un aumento del parque automotriz dado las mejores condiciones económicas en el país con una mayor oferta de vehículos con la entrada de automóviles provenientes de China a partir del 2007.

Tabla 70. 1.A.3.b.i. Automóviles: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tecnología catalítica, serie 1990-2018

| Tecnología | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1.A.3.b.i.1. Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales | 13,9 | 1.785,2 | 4.932,4 | 6.303,3 | 7.820,9 | 8.323,2 | 8.469,6 |
| 1.A.3.b.i.2. Automóviles de pasajeros sin catalizadores tridireccionales | 2.330,2 | 2.820,5 | 650,2 | 448,4 | 309,5 | 266,6 | 217,9 |
| Total | 2.344,1 | 4.605,7 | 5.582,6 | 6.751,8 | 8.130,4 | 8.589,8 | 8.687,5 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 50. 1.A.3.b.i. Automóviles: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tecnología catalítica, serie 1990-2018



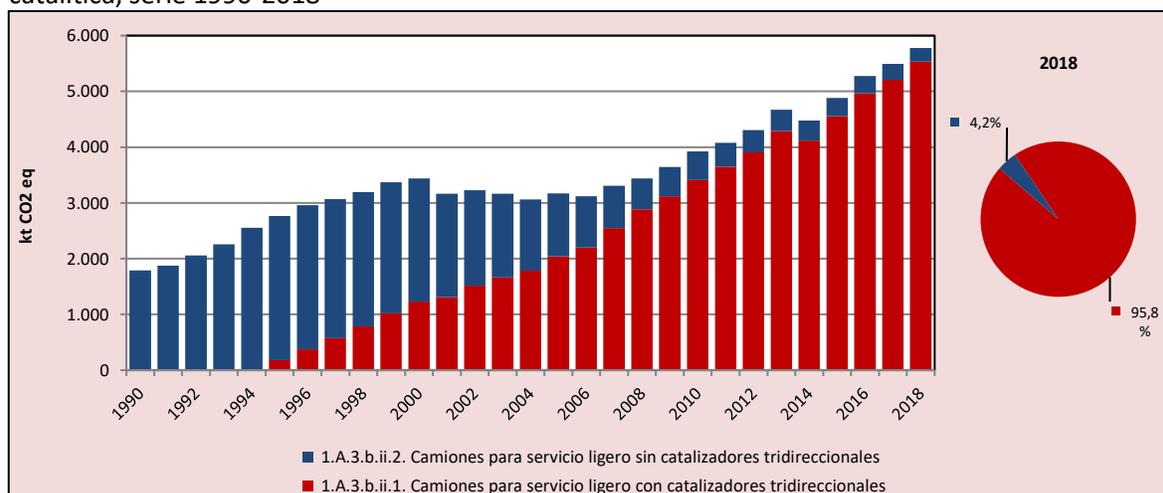
Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 71. 1.A.3.b.ii. Camiones para servicio ligero: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tecnología catalítica, serie 1990-2018

| Tecnología | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1.A.3.b.ii.1. Camiones para servicio ligero con catalizadores tridireccionales | - | 1.230,5 | 3.407,4 | 4.288,2 | 4.970,5 | 5.209,1 | 5.534,3 |
| 1.A.3.b.ii.2. Camiones para servicio ligero sin catalizadores tridireccionales | 1.789,2 | 2.207,3 | 513,3 | 385,4 | 308,0 | 284,1 | 244,3 |
| Total | 1.789,2 | 3.437,8 | 3.920,8 | 4.673,6 | 5.278,4 | 5.493,2 | 5.778,5 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 51. 1.A.3.b.ii. Camiones para servicio ligero: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tecnología catalítica, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Respecto a las emisiones de GEI por tipo de combustible usado en el *Transporte terrestre*, el *Gas/Diésel oil* es el de mayor relevancia con un 59,9 % en 2018, mientras que *Gasolina para motor* correspondió a un 39,8 % (Tabla 72 y Figura 52). Si bien la tendencia de su consumo de forma histórica es al alza, en el año 2014 hubo una disminución en el consumo de diésel para el sector,

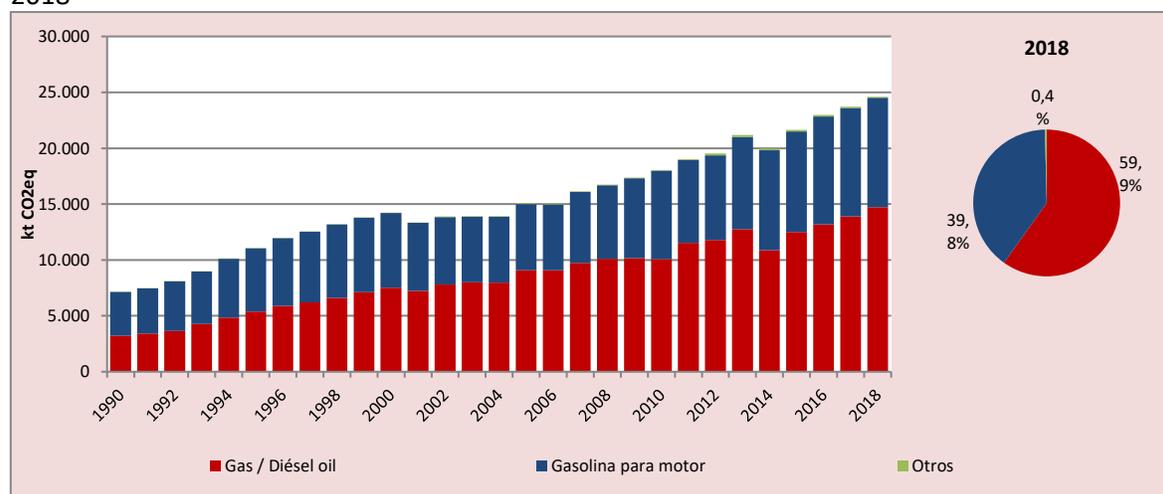
asociado principalmente a la desaceleración económica del periodo junto con el alza de precio del diésel para ese año.

Tabla 72. 1.A.3.b. Transporte terrestre: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Gas / Diésel oil | 3.219,0 | 7.524,0 | 10.065,3 | 12.742,1 | 13.185,2 | 13.898,8 | 14.726,2 |
| Gasolina para motor | 3.918,1 | 6.674,8 | 7.921,3 | 8.262,1 | 9.636,8 | 9.708,4 | 9.783,7 |
| Otros | 13,9 | 19,4 | 62,3 | 169,9 | 143,6 | 109,4 | 90,5 |
| Total | 7.150,9 | 14.218,3 | 18.049,0 | 21.174,2 | 22.965,7 | 23.716,6 | 24.600,4 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 52. 1.A.3.b. Transporte terrestre: emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.10.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó en general el método Nivel 1 (excepto para el CH₄ y N₂O del *Transporte terrestre*) de las *Directrices del IPCC de 2006* (descrito en la sección 3.2.3. *supra*) usando datos de actividad desde el BNE y factores de emisión por defecto.

La Tabla 73 resume los métodos que se usaron para cada componente de la subcategoría. En el caso particular del componente *Transporte terrestre* se aplicó método de Nivel 1 para el CO₂, ya que no se cuenta con los contenidos de carbono específicos del país; y el método Nivel 2 para el CH₄ y N₂O, ya que fue posible desagregar los vehículos por tipo de tecnología, aunque no se cuenta con factores de emisión país específicos. Las categorías *Emisiones por evaporación procedentes de vehículos y catalizadores basados en Urea* no se estimaron ya que no se cuenta con la información requerida.

Tabla 73. 1.A.3. Transporte: métodos aplicados por componente

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 1.A.3. Transporte | T1, IE, NE | D, IE, NE | T1, T2, IE, NE | D, IE, NE | T1, T2, IE, NE | D, IE, NE |
| 1.A.3.a. Aviación civil | T1 | D | T1 | D | T1 | D |

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 1.A.3.a.i. Aviación internacional (tanques internacionales) | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.3.a.ii. Aviación de cabotaje | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.3.b. Transporte terrestre | T1, NE | D, NE | T2, NE | D, NE | T2, NE | D, NE |
| 1.A.3.b.i. Automóviles | T1 | D | T2 | D | T2 | D |
| 1.A.3.b.i.1. Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales | T1 | D | T2 | D | T2 | D |
| 1.A.3.b.i.2. Automóviles de pasajeros sin catalizadores tridireccionales | T1 | D | T2 | D | T2 | D |
| 1.A.3.b.ii. Camiones para servicio ligero | T1 | D | T2 | D | T2 | D |
| 1.A.3.b.ii.1. Camiones para servicio ligero con catalizadores tridireccionales | T1 | D | T2 | D | T2 | D |
| 1.A.3.b.ii.2. Camiones para servicio ligero sin catalizadores tridireccionales | T1 | D | T2 | D | T2 | D |
| 1.A.3.b.iii. Camiones para servicio pesado y autobuses | T1 | D | T2 | D | T2 | D |
| 1.A.3.b.iv. Motocicletas | T1 | D | T2 | D | T2 | D |
| 1.A.3.b.v. Emisiones por evaporación procedentes de vehículos | | | | | | |
| 1.A.3.b.vi. Catalizadores basados en urea | NE | NE | | | | |
| 1.A.3.c. Ferrocarriles | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.3.d. Navegación marítima y fluvial | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.3.d.i. Navegación internacional (tanques internacionales) | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.3.d.ii. Navegación marítima y fluvial nacional | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.3.e. Otro tipo de transporte | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE |
| 1.A.3.e.i. Transporte por gasoductos | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 1.A.3.e.ii. Todo terreno | T1 | D | T1 | D | T1 | D |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de planillas Excel.

3.2.10.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Todos los datos de actividad de las emisiones de la subcategoría provienen de los BNE de las series anuales desde 1990 hasta 2018, presentados por tipo de combustible en la Tabla 74. En el ANEXO 06.02 se encuentran los datos desagregados por componente. Adicionalmente para la desagregación de transporte terrestre y de transporte marítimo y aéreo se utiliza información del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y del Servicio Nacional de Aduana.

Tabla 74. 1.A.3. Transporte: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2018

| Años | Gasolina para motor | Gasolina aviación | Queroseno para motor a reacción | Otro queroseno | Gas/Diésel oil | Fuelóleo residual | Gases licuados de petróleo | Nafta | Otro carbón bituminoso | Gas natural |
|------|---------------------|-------------------|---------------------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------------------|-------|------------------------|-------------|
| | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ |
| 1990 | 59.914,14 | 268,08 | 7.614,45 | - | 55.194,87 | 1.055,81 | - | - | 3,98 | 233,62 |
| 1991 | 62.061,94 | 253,92 | 4.352,73 | - | 61.928,34 | 806,03 | - | - | - | 286,38 |
| 1992 | 68.487,34 | 253,92 | 6.211,78 | - | 64.038,10 | 1.687,24 | - | - | - | 169,57 |
| 1993 | 72.326,72 | 253,92 | 7.823,35 | - | 72.321,73 | 3.190,72 | - | - | - | 222,32 |
| 1994 | 81.303,10 | 253,92 | 6.243,22 | - | 80.404,16 | 538,75 | - | - | - | 260,00 |
| 1995 | 88.117,45 | 253,92 | 8.873,67 | - | 87.279,09 | 2.221,81 | - | - | - | 260,00 |

| Años | Gasolina para motor | Gasolina aviación | Queroseno para motor a reacción | Otro queroseno | Gas/Diésel oil | Fuelóleo residual | Gases licuados de petróleo | Nafta | Otro carbón bituminoso | Gas natural |
|------|---------------------|-------------------|---------------------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------------------|-------|------------------------|-------------|
| | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ |
| 1996 | 94.530,86 | 285,66 | 10.223,77 | - | 97.638,20 | 622,27 | - | - | - | 256,23 |
| 1997 | 98.471,71 | 285,66 | 13.893,50 | - | 102.120,19 | 1.060,79 | - | - | - | 218,55 |
| 1998 | 102.616,00 | 317,40 | 13.431,70 | - | 106.875,29 | 4.080,28 | - | - | - | 229,86 |
| 1999 | 104.862,13 | 253,92 | 11.094,40 | - | 110.780,56 | 2.748,03 | - | - | - | 237,39 |
| 2000 | 105.273,27 | 222,18 | 9.252,92 | - | 114.244,09 | 3.959,16 | - | - | - | 327,83 |
| 2001 | 96.376,23 | 222,18 | 12.355,32 | - | 110.953,99 | 350,81 | - | - | - | 418,26 |
| 2002 | 95.893,52 | 222,18 | 10.387,68 | - | 118.586,84 | 1.616,24 | - | - | - | 953,33 |
| 2003 | 93.247,47 | 158,70 | 8.143,66 | - | 119.792,48 | 2.279,45 | - | - | - | 968,41 |
| 2004 | 93.743,04 | 189,77 | 9.554,81 | 177,66 | 122.467,82 | 5.632,75 | 71,99 | - | 1,64 | 1.107,18 |
| 2005 | 93.560,64 | 185,84 | 11.735,79 | 607,98 | 138.723,92 | 9.805,69 | 25,57 | 0,22 | 0,37 | 1.290,22 |
| 2006 | 92.379,44 | 191,01 | 12.058,98 | 60,84 | 135.940,13 | 8.472,14 | 104,89 | 0,62 | 2,67 | 1.347,20 |
| 2007 | 98.911,56 | 179,30 | 13.566,57 | 90,70 | 145.557,25 | 12.250,26 | 163,36 | 0,22 | 1,53 | 953,24 |
| 2008 | 102.187,63 | 187,91 | 17.934,62 | 55,48 | 151.051,03 | 12.002,01 | 135,34 | 9,79 | 0,76 | 541,19 |
| 2009 | 110.863,03 | 223,80 | 12.246,79 | 273,86 | 150.649,23 | 8.991,00 | 259,43 | - | - | 841,42 |
| 2010 | 122.391,84 | 334,60 | 9.919,90 | 20,00 | 141.037,23 | 2.819,20 | 282,78 | - | - | 742,70 |
| 2011 | 114.253,20 | 149,46 | 10.226,03 | 30,57 | 158.493,70 | 7.242,08 | 597,94 | 8,87 | - | 709,50 |
| 2012 | 116.914,49 | 829,20 | 14.795,99 | 31,95 | 161.250,53 | 5.556,42 | 1.377,57 | - | - | 1.225,94 |
| 2013 | 126.794,41 | 774,84 | 13.018,32 | 196,62 | 177.481,42 | 7.813,41 | 1.551,20 | - | - | 1.177,28 |
| 2014 | 136.344,54 | 139,79 | 12.788,77 | 123,86 | 151.378,60 | 8.217,50 | 1.413,82 | - | - | 1.402,84 |
| 2015 | 137.021,99 | 241,69 | 18.130,48 | 289,36 | 175.824,57 | 3.557,76 | 1.397,48 | - | - | 1.118,00 |
| 2016 | 146.347,62 | 230,63 | 17.818,94 | 238,00 | 184.123,95 | 5.795,95 | 1.291,56 | - | - | 1.024,99 |
| 2017 | 147.346,50 | 258,64 | 19.002,16 | 293,60 | 195.153,62 | 5.400,07 | 1.068,79 | - | - | 690,93 |
| 2018 | 147.477,66 | 261,60 | 25.697,69 | 379,85 | 206.515,24 | 4.705,69 | 888,11 | - | - | 567,86 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Los datos de actividad tomados del Servicio Nacional de Aduana corresponden a las exportaciones realizadas dentro de cada año, cuyo código arancelario es 160000, correspondiente a *“combustibles, lubricantes, aparjos y demás mercancías, incluidas las provisiones destinadas al consumo de pasajeros y tripulantes, que requieran las naves, aeronaves y también los vehículos destinados al transporte internacional, en estado de viajar, para su propio mantenimiento, conservación y perfeccionamiento”*. Dentro de esta base de datos se toman las cantidades descritas como combustibles separados por transporte aéreo o marítimo cuyo nombre sea querosene, fuelóleo, diésel o variaciones similares. El resultado de esto se resta directamente al consumo reportado por el BNE.

Para la desagregación del combustible reportado por el BNE como transporte terrestre por tipo de vehículo, se solicitó información al INE sobre desagregación del parque vehicular (tipo de vehículo, motor diésel o gasolina para motor y si tenían catalizador o no). Esta información no se encuentra disponible para toda la serie 1990-2018, por lo que los datos fueron proyectados. Para la serie 2008-2018 se cuenta con los datos solicitados; mientras que para la serie 1998-2007 se cuenta con el dato de número de vehículos por tipo, pero no el tamaño del motor ni si cuentan o no con catalizador. Entre 1990-1998 se cuenta solo con el consumo de combustible total.

Para mantener la consistencia temporal primero se proyectó, de manera retrospectiva, el número de vehículos por tipo desde 1998 hasta 1990. Para esto se calculó una tasa de variación anual por tipo de vehículo entre los últimos 5 años y se aplicó al resto de la serie (Tabla 75).

Tabla 75. Tasa de crecimiento anual por tipo de vehículo

| Tipo de vehículo | Tasa de crecimiento anual |
|------------------|---------------------------|
| Automóviles | 2 % |

| Tipo de vehículo | Tasa de crecimiento anual |
|-------------------|---------------------------|
| Camiones livianos | 2 % |
| Motocicletas | -5 % |
| todo terreno | 5 % |
| Camiones | 3 % |
| Buses | 2 % |
| Agrícola | -2 % |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Para separar los vehículos que cuentan o no con motor catalítico, se supuso que en 1994 comienza su ingreso al país, por lo que el valor para ese año fue de 0. Luego, se dividió el porcentaje existente en 2008 en el número de años (1994-2007), realizando una tendencia lineal ya que no se cuenta con información suficiente para realizar una correlación real. El porcentaje de representación de cada tipo de vehículo para cada año está dado por la siguiente fórmula:

Ecuación 6. Transporte: proyección del parque vehicular desde 1994 hasta 2008 por tipo de vehículo para separar catalítico y no catalítico.

$$P_{\text{tipo vehículo, año}} = P_{\text{tipo vehículo, año}+1} - \left(\frac{P_{\text{tipo vehículo, 2008}}}{14} \right)$$

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Donde $P_{\text{tipo vehículo, año}}$ es el porcentaje de representación del tipo de vehículo.

Para separar los vehículos que utilizan diésel o bencina, se tomó la variación del crecimiento del último año y se aplicó al resto de la serie. Por ejemplo: en el 2008 la proporción de gasolina para motor en automóviles no catalíticos fue del 15,8 % y en el 2009 del 13,4 %, es decir que disminuyó la proporción en 2,4 %; Esta disminución se aplicó de forma retroactiva hasta 1990, quedando en el 2007 la proporción de gasolina para motor en automóviles no catalíticos en 18,2 % y así sucesivamente. Esto se ve reflejado en la siguiente fórmula:

Ecuación 7. Transporte: proyección de parque vehicular desde 1990 hasta 2007 por tipo de vehículo para separar por tipo de motor

$$P_{\text{tipo vehículo, año}} = P_{\text{tipo vehículo, año}+1} + (P_{\text{tipo vehículo, año}+1} - P_{\text{tipo vehículo, año}+2})$$

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Para obtener la desagregación del combustible a partir del parque vehicular se realizaron los siguientes pasos:

- Se agruparon los tipos de vehículo por tipo de motor y con o sin catalizador.
- Se hizo el supuesto de que para toda la serie la proporción de vehículos con y sin catalizador era la misma para vehículos diésel y para vehículos a gasolina para motor excepto para camiones ligeros, en donde se utilizó la proporción de automóviles. Este supuesto se hizo con base en los datos solicitados al INE en que efectivamente se corroboró que se cumplía esta desagregación.
- Se tomó el número de vehículos por subcomponente y se multiplicó por un factor de actividad (km/año) y por su rendimiento (litros/km). Estos parámetros se obtuvieron de un estudio realizado por Sistemas Sustentables en noviembre de 2014 solicitado por el MTT (Sistemas Sustentables, 2014). El nivel de actividad se generó con el software MODAGEM para el año 2010, las categorías utilizadas en el estudio fueron todo terreno, furgón, minibús

particular, camioneta, motocicleta, taxi, buses y camiones. El factor de consumo se obtuvo a través de COPERT 4 con velocidades promedio del 2012 y se usaron las categorías de Buses, Camiones, Motos, Comerciales y Pasajeros. Estos dos últimos se clasificaron como *Automóviles* y *camiones de servicios ligeros* respectivamente. Los vehículos todo terreno y agrícola se consideraron con un factor de actividad igual al de las motocicletas y con un rendimiento igual al de camiones. Estos parámetros además se encuentran desagregados por región, por lo que se realizó un promedio simple por categoría. Finalmente se obtuvieron los siguientes parámetros:

Tabla 76. 1.A.3.b. Transporte terrestre: parámetros utilizados para convertir el número de vehículos en consumo de combustible por año

| Tipo de vehículo | Diésel | Gasolina para motor |
|------------------------|------------|---------------------|
| | Litros/año | Litros/año |
| AUTOMÓVIL | 763 | 1.107 |
| CAMION LIGERO | 1.266 | 1.922 |
| MOTO | 238 | 238 |
| TODO TERRENO | 949 | 2.500 |
| BUSES | 18.918 | 24.294 |
| CAMIONES | 6.460 | 17.026 |
| AGRÍCOLA ⁵² | 949 | 2.500 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en (Sistemas Sustentables, 2014)

- Luego se hizo un cuadro de proporciones de consumo de combustible por categoría y se multiplicó por los consumos del BNE para mantener coherencia con la fuente de datos de actividad.
- Al comparar los valores obtenidos por la estimación con los valores del BNE se obtiene que para los últimos años de la serie la diferencia es pequeña mientras que para los primeros años de la serie es más alta. El máximo se alcanza en 1990 con un 27 % de diferencia, pero en promedio el error es 8,5 %. Esto es debido a que se usaron parámetros de años recientes para toda la serie y que desde el 1997 hacia atrás se utilizó una proyección de los datos.

Es importante señalar que el consumo estimado para el sector agrícola corresponde al consumo principalmente de tractores, los cuales se ven representado en el subcomponente 1.A.4.c.ii de la subcategoría *Otros sectores*.

El parque automotriz desagregado según componente y combustible se presenta en el ANEXO 06.03.

3.2.10.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión de los combustibles usados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron factores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. La Tabla 77 presenta los factores de emisión usados para el CO₂, mientras que la Tabla 78 muestra los factores de emisión usados para el CH₄ y el N₂O. Estos últimos se presentan por separado ya que varían dependiendo del subcomponente.

Tabla 77. 1.A.3. Transporte: resumen factores de emisión de CO₂

| Combustible | kg CO ₂ /TJ |
|---------------------------|------------------------|
| Gasolina para motor | 69.300 |
| Gasolina para la aviación | 69.300 |

⁵² El consumo asociado a la combustión del sector agrícola se presenta en el componente 1.A.4.c.ii

| Combustible | kg CO ₂ /TJ |
|---------------------------------|------------------------|
| Queroseno para motor a reacción | 71.500 |
| Otro queroseno | 71.900 |
| Gas/Diésel oil | 74.100 |
| Fuelóleo residual | 77.400 |
| Gases licuados de petróleo | 63.100 |
| Nafta* | 73.300 |
| Otro carbón bituminoso | 96.100 |
| Gas de fábrica de gas* | 44.400 |
| Gas natural | 56.100 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.2.1, 3.4.1, 3.5.2, 3.6.4; Cap. 3; Vol. 2) y (Cuadro 1.4; Cap. 1; Vol. 2)

Tabla 78. 1.A.3. Transporte: resumen factores de emisión de CH₄ y N₂O por subcomponente

| Combustible | Subcomponente | kg CH ₄ /TJ | kg N ₂ O/TJ |
|-------------------------------|--|------------------------|------------------------|
| Gasolina para motor | Todo terreno | 120,0 | 2,0 |
| Gasolina para la aviación | Todo terreno | 0,5 | 2,0 |
| Queroseno para motor reacción | Todo terreno | 0,5 | 2,0 |
| Otro queroseno* | Todo terreno | 3,0 | 0,6 |
| Gas/Diésel oil | Todo terreno | 4,2 | 28,6 |
| Fuelóleo residual | Todo terreno | 0,8 | 0,3 |
| Gases licuados de petróleo | Todo terreno | 62,0 | 0,2 |
| Nafta | Todo terreno | 4,2 | 28,6 |
| Gas natural | Todo terreno | 92,0 | 3,0 |
| Todos | Aviación doméstica | 0,5 | 2,0 |
| Gasolina para motor | Automóviles y Camiones ligeros catalíticos | 25,0 | 8,0 |
| Gas/Diésel oil | Automóviles y Camiones ligeros catalíticos | 3,9 | 3,9 |
| Gasolina para motor | Automóviles y Camiones ligeros no catalíticos y Camiones y Buses | 33,0 | 3,2 |
| Gas/Diésel oil | Automóviles y Camiones ligeros no catalíticos y Camiones y Buses | 3,9 | 3,9 |
| Gasolina para motor | Motocicletas | 3,8 | 5,7 |
| Todos | Navegación | 7,0 | 2,0 |
| Gasolina para motor | Ferrocarriles | 33,0 | 3,2 |
| Gas/Diésel oil | Ferrocarriles | 4,2 | 28,6 |
| Fuelóleo residual | Ferrocarriles | 0,8 | 0,3 |
| Nafta | Ferrocarriles | 4,2 | 28,6 |
| Otro carbón bituminoso | Ferrocarriles | 2,0 | 1,5 |
| Gas de fábrica de gas* | Ferrocarriles | 1,0 | 0,1 |

Fuente: elaboración propia del Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en Cuadros 3.5.3 (navegación), 3.6.5 (aviación), 3.4.1 (ferrocarriles), 3.2.2 (transporte terrestre), 3.3.1 (todo terreno) y con base en Cuadro 1.4; Cap. 2; Vol. 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*

3.2.10.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para cada tipo de combustible y para cada GEI. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 79.

Tabla 79. 1.A.3. Transporte: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|----------------------|------------------|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 1.A.3.a. | Aviación civil | CH ₄ | 20,0% | 20,0% | 5,0% | 5,0% | 20,6% | 20,6% |
| 1.A.3.a. | Aviación civil | CO ₂ | 20,0% | 20,0% | 70,0% | 70,0% | 72,8% | 72,8% |
| 1.A.3.a. | Aviación civil | N ₂ O | 20,0% | 20,0% | 70,0% | 70,0% | 72,8% | 72,8% |
| 1.A.3.b. | Transporte Terrestre | CH ₄ | 5,0% | 5,0% | 5,0% | 5,0% | 7,1% | 7,1% |
| 1.A.3.b. | Transporte Terrestre | CO ₂ | 5,0% | 5,0% | 60,0% | 60,0% | 60,2% | 60,2% |
| 1.A.3.b. | Transporte Terrestre | N ₂ O | 5,0% | 5,0% | 60,0% | 60,0% | 60,2% | 60,2% |
| 1.A.3.c. | Ferrocarriles | CH ₄ | 5,0% | 5,0% | 5,0% | 5,0% | 7,1% | 7,1% |

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|---|------------------|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 1.A.3.c. | Ferrocarriles | CO ₂ | 5,0% | 5,0% | 60,0% | 60,0% | 60,2% | 60,2% |
| 1.A.3.c. | Ferrocarriles | N ₂ O | 5,0% | 5,0% | 50,0% | 50,0% | 50,2% | 50,2% |
| 1.A.3.d. | Navegación marítima y fluvial - Combustibles líquidos | CH ₄ | 20,0% | 20,0% | 5,0% | 5,0% | 20,6% | 20,6% |
| 1.A.3.d. | Navegación marítima y fluvial - Combustibles líquidos | CO ₂ | 20,0% | 20,0% | 50,0% | 50,0% | 53,9% | 53,9% |
| 1.A.3.d. | Navegación marítima y fluvial - Combustibles líquidos | N ₂ O | 20,0% | 20,0% | 40,0% | 40,0% | 44,7% | 44,7% |
| 1.A.3.e. | Otro Tipo de Transporte | CH ₄ | 5,0% | 5,0% | 5,0% | 5,0% | 7,1% | 7,1% |
| 1.A.3.e. | Otro Tipo de Transporte | CO ₂ | 5,0% | 5,0% | 60,0% | 60,0% | 60,2% | 60,2% |
| 1.A.3.e. | Otro Tipo de Transporte | N ₂ O | 5,0% | 5,0% | 60,0% | 60,0% | 60,2% | 60,2% |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Con respecto a los datos de actividad, el BNE de Chile no cuenta con una estadística sobre la exactitud e incertidumbre de los datos. Dado esto, el Equipo Técnico de Energía (quienes elaboran el BNE) aplicó los valores de incertidumbre recomendados por las *Directrices del IPCC de 2006* que para el *Transporte terrestre y Ferroviario* es del $\pm 5\%$ (página 3.3; Capítulo 3; Volumen 2) mientras que para *Aviación y Navegación* es mayor ya que incluye datos externos, en este caso de Aduana, que no son necesariamente muy comparables. Se determinó esta incertidumbre en $\pm 20\%$ basado en la variación en los datos de Aduana con respecto a los del BNE.

Con respecto a los factores de emisión, se usaron FE por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. Dado esto, se aplicaron valores de incertidumbre inferidos a partir de los valores superiores e inferiores reportados por las mismas. Para el CO₂ la incertidumbre usada es $\pm 5\%$ (Cuadro 1.4; Capítulo 1; Volumen 2). Para estimarla se calcularon los porcentajes que representan los valores superiores e inferiores con respecto al valor central para los principales combustibles usados en Chile. Luego se tomó el mayor valor y se truncaron los decimales. La incertidumbre para los factores de emisión del CH₄ y el N₂O varía para combustión estacionaria y móvil.

En conclusión, la mayor fuente de incertidumbre en las estimaciones de GEI de la subcategoría proviene del uso de factores de emisión por defecto.

3.2.10.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos, de acuerdo con lo presentado en la sección 3.2.10.3. La principal fuente de datos, el BNE, contiene variaciones en su elaboración a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el Equipo Técnico de Energía ha tenido que realizar cambios y ajustes, los cuales se detallan en la sección 3.5.1.3.

3.2.10.6. Recálculos

3.2.10.6.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

En esta subcategoría hubo pequeños ajustes respecto al INGEI2018, asociado principalmente a reubicaciones de ciertos consumos, tales como:

- Reasignación del consumo de queroseno para motor a reacción desde *Todo terreno* (1.A.3.e.ii) a *Aviación de cabotaje* (1.A.3.a.ii).
- Reasignación del consumo de gas licuado de petróleo y gas natural desde *Todo terreno* (1.A.3.e.ii) a *Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales* (1.A.3.b.i.1).
- Corrección de consumo de *Ferrocarriles* (1.A.3.c) para fuelóleo en 2013 y 2014 se modifican como consumo de diésel ya que, en ese periodo, la tendencia de diésel decae a cero mientras fuelóleo aumenta (siendo que en la serie histórica no tiene consumos) para luego en 2015 retornar a la tendencia previa al 2012.
- Interpolación en la subcategoría *Todo terreno* (1.A.3.e.ii) para fuelóleo en el año 2010 debido a un peak ocurrido en ese año.

3.2.11. Otros sectores (1.A.4.)

3.2.11.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye las emisiones de GEI generadas por la quema de combustibles fósiles en edificios comerciales e institucionales, en los hogares y en actividades relacionadas con la agricultura, la silvicultura, la pesca y la industria pesquera.

En la Tabla 80 se presentan sus componentes y respectivamente los sectores del BNE que lo comprenden.

Tabla 80. 1.A.4. Otros sectores: componentes y sus supuestos relevantes

| Componente | Definiciones IPCC | Sector BNE | Observaciones |
|--|--|----------------------|--|
| 1.A.4.a. Comercial/Institucional. | Emisiones de la quema de combustibles en edificios comerciales e institucionales | Comercial y Público | El sector público incluye el combustible utilizado por Universidades, Fuerzas Armadas, alumbrado público entre otros |
| 1.A.4.b. Residencial | Emisiones de la quema de combustibles en hogares | Residencial | Combustible utilizado en hogares principalmente para calefacción, cocina y calefón. |
| 1.A.4.c. Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías | Quemas de combustible para uso energético incluyendo en bombas, secado de granos, maquinaria y pesca estacionaria y móvil. | | |
| 1.A.4.c.ii. Vehículos todo terreno y otra maquinaria | Emisiones de vehículos quemados en vehículos de tracción en granjas y en bosques. | Transporte Terrestre | Incluye la proporción del Diésel y la gasolina para motor reportado en el BNE como transporte terrestre equivalente al consumo del parque vehicular de vehículos agrícolas (tractores) |
| 1.A.4.c.iii. Pesca | Combustible usado en pesca de cabotaje, costera y en alta mar. Cubre naves de todas las banderas y también pesca internacional | Pesca | Pesca en el BNE es parte de Sector Industrial y minero |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.11.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 7.936,4 kt CO₂ eq (representando el 9 % de las emisiones de GEI del sector Energía), incrementándose en un 98 % desde 1990 y en un 8 % desde 2016 (Tabla 81 y Figura 53). En 2011 se observa un incremento fuera de la tendencia atribuido a un aumento del consumo de diésel en los componentes *Comercial/Institucional* y *Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías*. Luego en 2012 y 2013 se observa una desaceleración en estos mismos, por un cambio metodológico en la construcción del BNE durante estos años. En

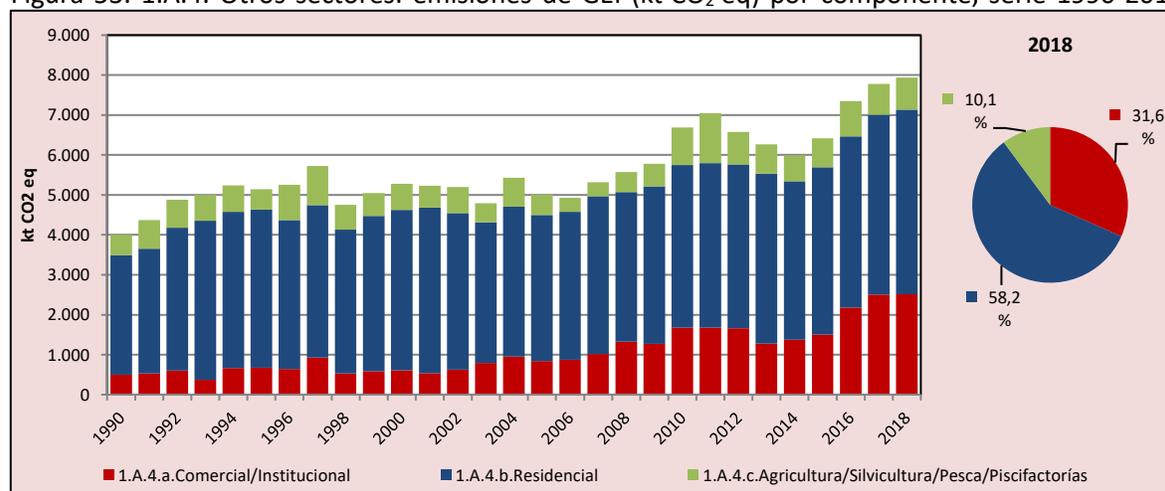
2014 existe una disminución pronunciada por la caída del consumo del sector *Residencial* asociada a una baja en el consumo de GLP y queroseno, debido principalmente a los cambios metodológicos indicados previamente. Cabe destacar que, para la presente actualización, de acuerdo con lo mencionado en el punto 3.2.7, se realizó una modificación en los valores del consumo de biomasa en el sector residencial desde 1990 hasta el 2009, a partir de los datos del 2010 al 2018. Esto implicó una disminución en las emisiones del sector en un 7% promedio para dicho periodo.

Tabla 81. 1.A.4. Otros sectores: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1.A.4.a.Comercial/Institucional | 499,0 | 612,6 | 1.681,3 | 1.279,5 | 2.179,9 | 2.505,9 | 2.510,5 |
| 1.A.4.b.Residencial | 2.998,9 | 4.016,5 | 4.067,2 | 4.255,5 | 4.286,8 | 4.500,2 | 4.621,7 |
| 1.A.4.c.Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías | 503,7 | 649,2 | 940,9 | 727,7 | 881,8 | 773,2 | 804,3 |
| Total | 4.001,7 | 5.278,3 | 6.689,4 | 6.262,7 | 7.348,5 | 7.779,3 | 7.936,4 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 53. 1.A.4. Otros sectores: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

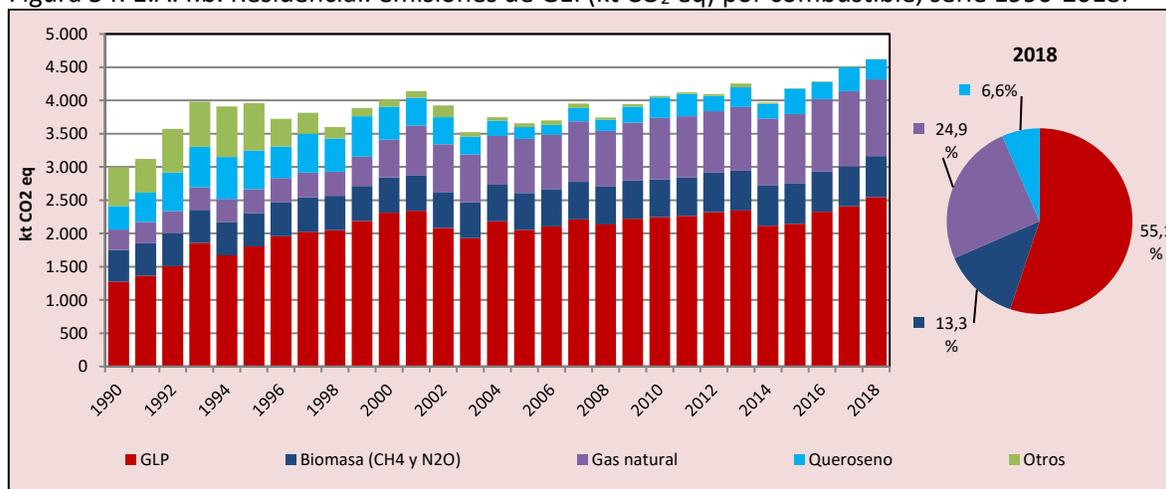
En lo que respecta al componente *Residencial* por tipo de combustible (Tabla 82 y Figura 54), el *Gas licuado de petróleo* es el de mayor importancia con un 54,3 %, seguido de un 25,4 % de *Gas natural*, 14,1 % de *Biomasa* (incluye solo emisiones de CH₄ y N₂O), 6,1 % de *Queroseno* y un 0,1 % de *Otros combustibles*.

Tabla 82. 1.A.4.b. Residencial: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2018.

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| GLP | 1.272,3 | 2.312,7 | 2.245,2 | 2.347,7 | 2.327,6 | 2.408,3 | 2.548,0 |
| Biomasa (CH ₄ y N ₂ O) | 375,8 | 473,2 | 570,6 | 598,6 | 604,5 | 604,6 | 616,0 |
| Gas natural | 304,9 | 570,8 | 922,3 | 954,2 | 1.087,2 | 1.127,7 | 1.152,9 |
| Queroseno | 355,2 | 494,0 | 307,2 | 299,1 | 261,8 | 357,2 | 303,5 |
| Otros | 585,1 | 108,8 | 21,9 | 55,8 | 5,7 | 2,4 | 1,3 |
| Total | 2.893,4 | 3.959,6 | 4.067,2 | 4.255,5 | 4.286,8 | 4.500,2 | 4.621,7 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 54. 1.A.4.b. Residencial: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.11.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* (descrito en la sección 3.2.3. *supra*) usando datos de actividad desde el BNE y factores de emisión por defecto.

La Tabla 83 resume los métodos que se aplicaron para cada componente de la subcategoría. El componente *Estacionario de Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías*, que incluye quemas de la agricultura y la pesca estacionaria, se consideran en el BNE dentro de las industrias, es decir, en *Industria no especificada*. En el caso particular del componente *Vehículo todo terreno y otra maquinaria* se obtuvo dicha información del consumo de maquinaria para el sector agrícola a partir de los antecedentes del INE, lo que se explica con mayor detalle en la sección 3.2.10.3.1.

Tabla 83. 1.A.4. Otros sectores: métodos aplicados por componente

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 1.A.4. Otros sectores | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE |
| 1.A.4.a. Comercial/Institucional | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.4.b. Residencial | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.4.c. Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE |
| 1.A.4.c.i. Estacionaria | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 1.A.4.c.ii. Vehículo todo terreno y otra maquinaria | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.4.c.iii. Pesca (combustión móvil) | T1 | D | T1 | D | T1 | D |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de planillas Excel.

3.2.11.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Todos los datos de actividad de las emisiones de la subcategoría provienen de los BNE de las series anuales desde 1990 hasta el 2018. La Tabla 84 y Tabla 85 presenta los valores correspondientes. En el ANEXO 06.02 se encuentran los datos desagregados por componente.

Tabla 84. 1.A.4. Otros sectores: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2018 (1 de 2)

| Años | Gasolina para motor | Gasolina para la aviación | Otro queroseno | Gas / Diésel oíl | Fuelóleo residual | Gases licuados de petróleo |
|------|---------------------|---------------------------|----------------|------------------|-------------------|----------------------------|
| | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ |
| 1990 | 194,86 | - | 5.707,66 | 7.496,05 | 3.500,16 | 23.381,18 |
| 1991 | 290,73 | - | 7.099,77 | 6.809,90 | 4.001,32 | 25.106,98 |
| 1992 | 304,83 | - | 9.323,17 | 8.305,17 | 4.526,35 | 27.759,74 |
| 1993 | 305,59 | - | 9.784,55 | 9.434,27 | 4.152,47 | 29.376,26 |
| 1994 | 325,74 | - | 10.174,34 | 10.161,95 | 5.019,55 | 30.751,63 |
| 1995 | 310,31 | - | 9.323,17 | 8.916,82 | 4.713,29 | 33.151,92 |
| 1996 | 292,03 | - | 7.588,99 | 4.636,74 | 6.721,91 | 35.959,17 |
| 1997 | 266,21 | - | 8.054,77 | 8.139,88 | 10.340,98 | 36.897,51 |
| 1998 | 242,07 | - | 6.924,76 | 4.816,12 | 4.096,78 | 36.810,76 |
| 1999 | 207,01 | - | 8.464,03 | 3.324,26 | 5.266,16 | 39.715,98 |
| 2000 | 174,48 | - | 6.833,28 | 5.610,62 | 5.174,68 | 40.944,39 |
| 2001 | 140,13 | - | 5.938,35 | 4.284,85 | 4.212,13 | 40.714,54 |
| 2002 | 118,75 | - | 5.667,88 | 5.218,62 | 4.808,75 | 38.088,16 |
| 2003 | 88,93 | - | 3.838,25 | 2.655,52 | 3.054,69 | 38.762,65 |
| 2004 | 73,79 | - | 3.487,59 | 8.976,47 | 3.414,21 | 39.406,73 |
| 2005 | 63,58 | - | 2.533,36 | 6.221,24 | 2.256,92 | 38.255,76 |
| 2006 | 54,86 | - | 2.046,47 | 5.773,96 | 2.218,06 | 37.827,63 |
| 2007 | 40,72 | - | 2.801,48 | 6.435,65 | 2.816,23 | 40.013,40 |
| 2008 | 35,52 | - | 2.295,48 | 10.836,77 | 4.961,22 | 38.617,19 |
| 2009 | 42,07 | - | 3.467,92 | 9.112,17 | 5.333,16 | 40.946,16 |
| 2010 | 140,22 | - | 4.293,34 | 19.001,82 | 6.840,40 | 40.993,83 |
| 2011 | 37,23 | 21,74 | 4.676,02 | 20.992,11 | 8.503,14 | 42.047,79 |
| 2012 | 40,74 | 62,64 | 3.195,34 | 19.560,25 | 3.714,59 | 43.346,41 |
| 2013 | 44,56 | 64,97 | 4.174,93 | 18.693,26 | 2.345,98 | 39.314,35 |
| 2014 | 38,20 | 29,58 | 3.164,77 | 14.227,56 | 2.243,18 | 39.017,93 |
| 2015 | 44,30 | 7,15 | 5.412,50 | 17.335,58 | 2.696,12 | 39.267,02 |
| 2016 | 39,96 | 3,98 | 3.780,03 | 26.316,17 | 3.391,92 | 44.194,01 |
| 2017 | 17,25 | 3,26 | 5.103,02 | 27.340,25 | 3.633,52 | 46.589,22 |
| 2018 | 25,70 | 4,43 | 4.325,06 | 28.643,60 | 3.616,97 | 48.403,83 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 85. 1.A.4. Otros sectores: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2018 (2 de 2)

| Años | Otro carbón bituminoso | Gas de fábrica de gas | Gas natural | Madera y desechos de madera | Otro biogás |
|------|------------------------|-----------------------|-------------|-----------------------------|-------------|
| | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ |
| 1990 | 2.394,43 | 2.068,70 | 6.300,30 | 66.014,37 | - |
| 1991 | 3.667,22 | 2.132,76 | 6.620,59 | 67.073,30 | - |
| 1992 | 3.631,42 | 2.347,54 | 6.876,82 | 67.969,95 | - |
| 1993 | 2.748,42 | 2.419,13 | 7.023,78 | 69.103,36 | - |
| 1994 | 2.565,46 | 2.513,34 | 7.087,83 | 70.388,34 | - |
| 1995 | 1.590,98 | 2.573,63 | 7.374,21 | 71.711,07 | - |
| 1996 | 3.555,85 | 2.690,44 | 7.566,38 | 73.081,55 | - |
| 1997 | 2.841,02 | 2.671,60 | 8.169,11 | 59.304,00 | - |
| 1998 | 1.336,43 | 2.848,70 | 7.913,05 | 59.868,98 | - |
| 1999 | 1.030,16 | 1.793,63 | 9.567,26 | 60.426,00 | - |

| Años | Otro carbón bituminoso | Gas de fábrica de gas | Gas natural | Madera y desechos de madera | Otro biogás |
|------|------------------------|-----------------------|-------------|-----------------------------|-------------|
| | TJ | TJ | TJ | TJ | TJ |
| 2000 | 529,00 | 1.616,52 | 12.540,30 | 61.010,86 | - |
| 2001 | 421,61 | 1.578,84 | 16.380,02 | 61.548,00 | - |
| 2002 | 719,92 | 1.224,64 | 16.673,93 | 62.109,00 | - |
| 2003 | 326,15 | 1.239,71 | 17.533,06 | 62.670,00 | - |
| 2004 | 1.258,55 | 816,15 | 18.254,44 | 63.538,51 | - |
| 2005 | 683,38 | 797,36 | 19.626,68 | 63.792,00 | - |
| 2006 | 583,77 | 1.035,91 | 19.909,97 | 64.353,00 | - |
| 2007 | 462,71 | 1.149,84 | 21.654,31 | 64.917,48 | - |
| 2008 | 463,25 | 959,87 | 19.754,26 | 65.475,00 | - |
| 2009 | 345,84 | 882,35 | 21.181,70 | 66.036,00 | - |
| 2010 | 204,17 | 569,09 | 21.518,19 | 65.652,14 | - |
| 2011 | 100,93 | 674,71 | 21.243,87 | 66.811,20 | - |
| 2012 | 99,43 | 754,54 | 21.506,71 | 68.136,89 | - |
| 2013 | 97,34 | 674,21 | 22.238,53 | 68.963,06 | - |
| 2014 | 131,96 | 378,99 | 24.632,75 | 72.942,79 | 3,45 |
| 2015 | 135,36 | 294,24 | 24.822,71 | 70.938,07 | 617,57 |
| 2016 | 65,54 | 167,86 | 25.342,99 | 70.332,72 | 184,61 |
| 2017 | 71,05 | 53,27 | 27.074,10 | 70.019,61 | 349,79 |
| 2018 | 65,08 | 48,00 | 26.909,02 | 71.424,03 | 297,61 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.11.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión de los combustibles usados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron casi en su totalidad factores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. La Tabla 86 presenta los factores de emisión usados.

Tabla 86. 1.A.4. Otros sectores: factores de emisión usados para la estimación de GEI de la subcategoría

| Combustible | kg CO ₂ /TJ | kg CH ₄ /TJ | kg N ₂ O/TJ |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Gasolina para motor | 69.300 | 10 | 0,6 |
| Gasolina para aviación | 70.000 | 10 | 0,6 |
| Otro queroseno | 71.900 | 10 | 0,6 |
| Gas/Diésel oil | 74.100 | 10 | 0,6 |
| Fuelóleo residual | 77.400 | 10 | 0,6 |
| Gases licuados de petróleo | 63.100 | 5 | 0,1 |
| Otro carbón bituminoso* | 94.600 | 300 (10) | 1,5 |
| Gas de fábrica de gas | 44.400 | 5 | 0,1 |
| Gas natural | 56.100 | 5 | 0,1 |
| Madera y desechos de madera | 112.000 | 300 | 4,0 |
| Biogás | 54.600 | 5 | 0,1 |

() Para el componente Comercial/Institucional se utiliza el número entre paréntesis.

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 2.4 y 2.5; Capítulo 2; Volumen 2)

3.2.11.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para cada tipo de combustible y para cada GEI. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 87.

Tabla 87. 1.A.4. Otros sectores: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------|------------------|---|-------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 1.A.4. | Otros sectores | CO ₂ | 12,5% | 12,5% | 5,0% | 5,0% | 13,5% | 13,5% |
| 1.A.4. | Otros sectores | CH ₄ | 12,5% | 12,5% | 70,0% | 230,0% | 71,1% | 230,3% |
| 1.A.4. | Otros sectores | N ₂ O | 12,5% | 12,5% | 70,0% | 230,0% | 71,1% | 230,3% |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Con respecto a los datos de actividad, el BNE de Chile no cuenta con una estadística sobre la exactitud e incertidumbre de los datos. Dado esto, el Equipo Técnico de Energía (elaboradores del BNE) aplicaron los valores de incertidumbre recomendados por las *Directrices del IPCC de 2006* que para “sistema estadístico menos desarrollado” y por “Encuesta” debería ser entre $\pm 10\%$ y $\pm 15\%$ (Cuadro 2.15, Capítulo 2, Volumen 2). Con base en la construcción del BNE y de acuerdo con sus elaboradores, se definió una incertidumbre del $\pm 12,5\%$ para todos los combustibles de esta subcategoría, excepto para la biomasa que según el mismo procedimiento se estableció en $\pm 50\%$.

Con respecto a los factores de emisión, se usaron FE por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. Dado esto, se aplicaron valores de incertidumbre inferidos a partir de los valores superiores e inferiores reportados por las *Directrices del IPCC de 2006*. Para el CO₂ la incertidumbre usada es $\pm 5\%$ (Cuadro 2.3; Capítulo 2; Volumen 2), mientras que para CH₄ y N₂O fueron -70% y $+230\%$ (Cuadro 2.4 y Cuadro 2.5; Capítulo 2; Volumen 2). Para estimarlos se calcularon los porcentajes que representan los valores superiores e inferiores con respecto al valor central para los principales combustibles usados en Chile. Luego se tomó el mayor valor y se truncaron los decimales. Se asumió que el metanol también tiene esta incertidumbre.

En conclusión, la mayor fuente de incertidumbre en las estimaciones de GEI de la subcategoría proviene del uso de factores de emisión por defecto.

3.2.11.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos, de acuerdo con lo presentado en la sección 3.2.11.3. La principal fuente de datos, el BNE, contiene variaciones en su elaboración a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el Equipo Técnico de Energía ha tenido que realizar cambios y ajustes, los cuales se detallan en la sección 3.5.1.4.

3.2.11.6. Recálculos

3.2.11.6.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

En esta subcategoría se realizó como principal cambio la extrapolación del consumo de biomasa para uso residencial, descrito de mejor manera en el punto 3.2.7 del presente informe. Además, se realizaron las siguientes modificaciones:

- Se traslada la serie completa del consumo de queroseno para motor de reacción desde 1.A.4.a a 1.A.5.b.i., en base a la sugerencia realizada por el equipo experto que revisó el INGEI 3IBA.

3.2.11.6.2. Implicaciones para los niveles de emisión

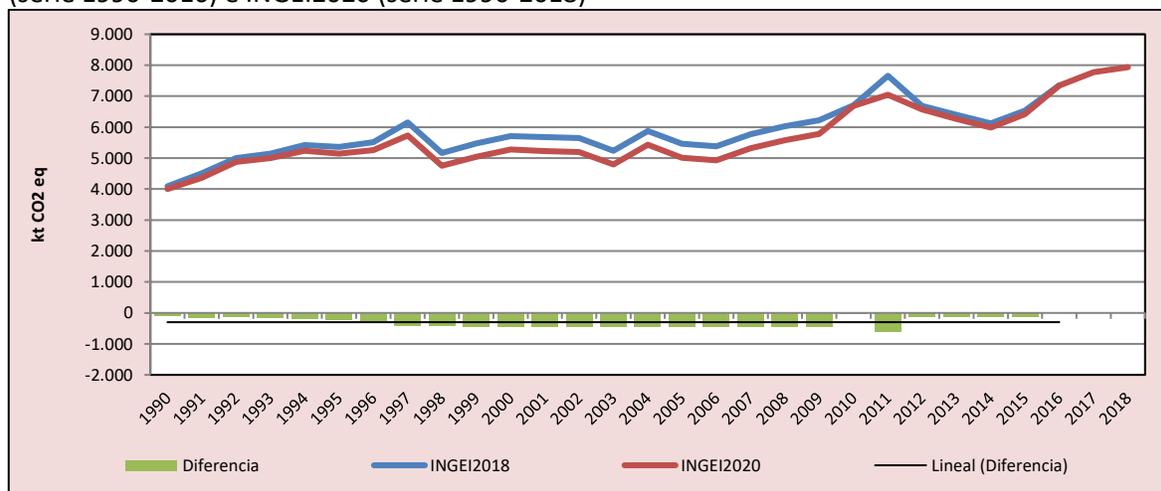
Como se observa en la Tabla 88 y Figura 55, los cambios realizados presentan variaciones desde 1990 hasta 2009, periodo en el cual se actualizó la serie histórica de biomasa para uso residencial, lo cual se detalla en el punto 3.2.7, lo cual implicó una reducción en las emisiones de los gases CH₄ y N₂O.

Tabla 88. 1.A.4. Otros sectores: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI2018 (serie 1990-2016) e INGEI2020 (serie 1990-2018)

| Categoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| INGEI2018 | 4.090,2 | 5.713,7 | 6.708,0 | 6.403,2 | 7.357,3 | | |
| INGEI2020 | 4.001,7 | 5.278,3 | 6.689,4 | 6.262,7 | 7.348,5 | 7.779,3 | 7.936,4 |
| Diferencia | -88,5 | -435,4 | -18,6 | -140,5 | -8,8 | | |
| % | -2,2% | -8,2% | -0,3% | -2,2% | -0,1% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 55. 1.A.4. Otros sectores: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI2018 (serie 1990-2016) e INGEI2020 (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.12. No especificado (1.A.5.)**3.2.12.1. Descripción de la subcategoría**

Esta subcategoría incluye todas las emisiones de quema de combustible que no se hayan declarado en otra categoría. En particular considera la quema de combustible de militares dentro del país y de manera informativa en operaciones multilaterales.

En la Tabla 89 se presentan sus componentes y respectivamente los sectores del BNE que lo comprenden.

Tabla 89. 1.A.5. Otros sectores: componentes y sus supuestos relevantes

| Componente | Definiciones IPCC | Sector BNE | Observaciones |
|---------------------------------------|--|---------------------|---|
| 1.A.5.a Estacionaria no especificado. | Emisiones de quema de combustibles en fuentes estacionarias que no se hayan especificado en otro lugar. | | |
| 1.A.5.b Móvil no especificado. | Emisiones móviles de vehículos y otras maquinarias, marina y aviación (que no se hayan incluido en 1.A.4.c ii o en ningún otro lugar). Incluye las emisiones procedentes del combustible entregado para la aviación y la navegación marítima y fluvial a las fuerzas militares del país, así como el combustible entregado dentro de ese país pero utilizado por las fuerzas militares de otros países no participantes. | Comercial y Público | El sector público incluye el combustible utilizado por Universidades, Fuerzas Armadas, alumbrado público entre otros. En este caso corresponde al consumo de queroseno de aviación para uso en fuerzas armadas. |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

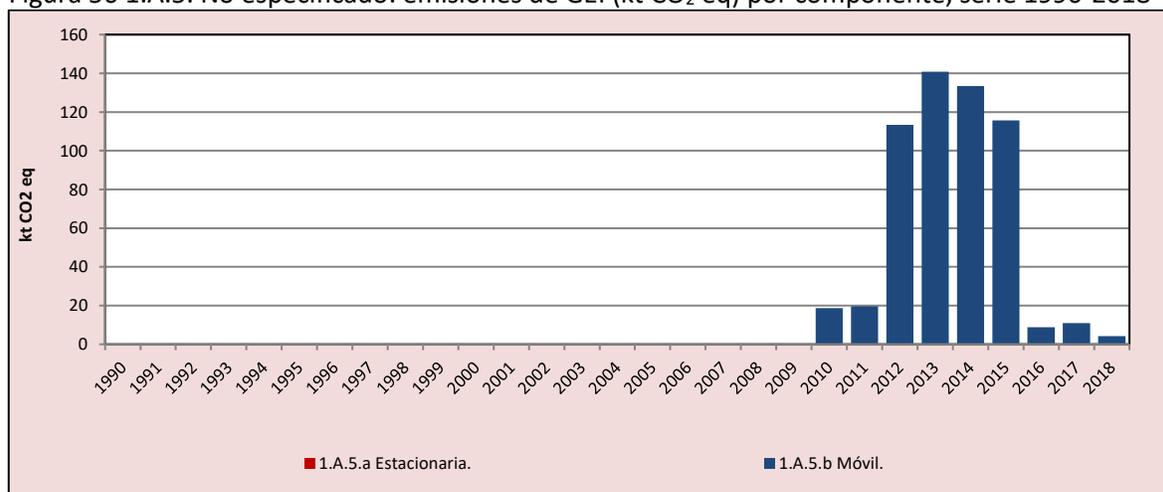
3.2.12.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 4,2 kt CO₂ eq disminuyendo en un 78 % desde 2010 y en un 53 % desde 2016 (Tabla 90 y Figura 56).

Tabla 90. 1.A.5. No especificado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------|------|------|-------------|--------------|------------|-------------|------------|
| 1.A.5.a Estacionaria. | - | - | - | - | - | - | - |
| 1.A.5.b Móvil. | - | - | 18,6 | 140,8 | 8,8 | 10,9 | 4,2 |
| Total | - | - | 18,6 | 140,8 | 8,8 | 10,9 | 4,2 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 56 1.A.5. No especificado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.12.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* (descrito en la sección 3.2.3. *supra*) usando datos de actividad desde el BNE y factores de emisión por defecto.

La Tabla 91 resume los métodos que se aplicaron para cada componente de la subcategoría.

Tabla 91. 1.A.5. No especificado: métodos aplicados por componente

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 1.A.5 No especificado | T1, IE, NE | D, IE, NE | T1, IE, NE | D, IE, NE | T1, IE, NE | D, IE, NE |
| 1.A.5.a Estacionaria | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| 1.A.5.b Móvil | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE | T1, IE | D, IE |
| 1.A.5.b.i Móvil (componente aviación) | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.A.5.b.ii Móvil (componente marítimo y fluvial) | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 1.A.5.b.iii Móvil (otro) | IE | IE | IE | IE | IE | IE |
| 1.A.5.c Operaciones multilaterales | IE | IE | IE | IE | IE | IE |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de planillas Excel.

3.2.12.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Todos los datos de actividad de las emisiones de la subcategoría provienen de los BNE de las series anuales desde 1990 hasta el 2018. La Tabla 92 presenta los valores correspondientes. En el ANEXO 06.02 se encuentran los datos desagregados por componente.

Tabla 92. 1.A.5. No especificado: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2018

| Años | Queroseno para motor a reacción |
|------|---------------------------------|
| | TJ |
| 1990 | - |
| 1991 | - |
| 1992 | - |
| 1993 | - |
| 1994 | - |
| 1995 | - |
| 1996 | - |
| 1997 | - |
| 1998 | - |
| 1999 | - |
| 2000 | - |
| 2001 | - |
| 2002 | - |
| 2003 | - |
| 2004 | - |
| 2005 | - |
| 2006 | - |
| 2007 | - |
| 2008 | - |
| 2009 | - |
| 2010 | 258,34 |
| 2011 | 273,43 |
| 2012 | 1.573,06 |
| 2013 | 1.953,07 |
| 2014 | 1.849,78 |
| 2015 | 1.604,03 |
| 2016 | 122,60 |
| 2017 | 151,02 |
| 2018 | 57,80 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Para esta subcategoría categoría existen datos desde el 2010, ya que desde ese año se desagregó el consumo asociado a actividades militares. Dadas la característica de los datos, no es posible extrapolarlos, ya sea por su trayectoria (alta variabilidad de los datos) o por el origen de éstos, ya que no es posible aseverar lo ocurrido en años anteriores respecto a sus niveles de usos debido a que se desconoce dicha información.

3.2.12.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión de los combustibles usados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron casi en su totalidad factores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* Cuadro 2.4 y 2.5; Capítulo 2; Volumen 2.

3.2.12.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para cada tipo de combustible y para cada GEI. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 93.

Tabla 93. 1.A.5. No especificado: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------|-----------------|---|-------|---------------------------------------|------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 1.A.5. | No especificado | CO ₂ | 12,5% | 12,5% | 5,0% | 5,0% | 13,5% | 13,5% |

| | | | | | | | | |
|--------|-----------------|------------------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| 1.A.5. | No especificado | CH ₄ | 12,5% | 12,5% | 70,0% | 230,0% | 71,1% | 230,3% |
| 1.A.5. | No especificado | N ₂ O | 12,5% | 12,5% | 70,0% | 230,0% | 71,1% | 230,3% |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Con respecto a los datos de actividad, el BNE de Chile no cuenta con una estadística sobre la exactitud e incertidumbre de los datos. Dado esto, el Equipo Técnico de Energía (elaboradores del BNE) aplicaron los valores de incertidumbre recomendados por las *Directrices del IPCC de 2006* que para “sistema estadístico menos desarrollado” y por “Encuesta” debería ser entre $\pm 10\%$ y $\pm 15\%$ (Cuadro 2.15, Capítulo 2, Volumen 2). Con base en la construcción del BNE y de acuerdo con sus elaboradores, se definió una incertidumbre del $\pm 12,5\%$ para todos los combustibles de esta subcategoría.

Con respecto a los factores de emisión, se usaron FE por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. Dado esto, se aplicaron valores de incertidumbre inferidos a partir de los valores superiores e inferiores reportados por las *Directrices del IPCC de 2006*. Para el CO₂ la incertidumbre usada es $\pm 5\%$ (Cuadro 2.3; Capítulo 2; Volumen 2), mientras que para CH₄ y N₂O fueron -70% y $+230\%$ (Cuadro 2.4 y Cuadro 2.5; Capítulo 2; Volumen 2). Para estimarlos se calcularon los porcentajes que representan los valores superiores e inferiores con respecto al valor central para los principales combustibles usados en Chile. Luego se tomó el mayor valor y se truncaron los decimales.

En conclusión, la mayor fuente de incertidumbre en las estimaciones de GEI de la subcategoría proviene del uso de factores de emisión por defecto.

3.2.12.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

3.3. Emisiones fugitivas (1.B.)

3.3.1. Descripción de la categoría

Se consideran emisiones fugitivas a todas las emisiones intencionales o no intencionales de GEI liberadas durante la extracción, el procesamiento, almacenamiento y la distribución de combustibles fósiles.

En el contexto nacional, las actividades que se consideran dentro de esta categoría son, en el caso de los combustibles sólidos, minería y posminería del carbón, tanto para minas subterráneas como superficiales. Para el petróleo se consideran las emisiones fugitivas producto del venteo, la producción y refinación (cuando son procesos integrados), el transporte de crudo y la refinación para la generación de productos finales refinados. En el caso del gas natural se consideran las emisiones del venteo, la producción, el procesamiento, la transmisión, almacenamiento y distribución.

3.3.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de ambas subcategorías contabilizaron 980,1 kt CO₂ eq (el 1,0 % de las emisiones de GEI del sector Energía), disminuyendo en un 61,4 % desde 1990 y en un 6,9 % desde 2016 (Tabla 94 y Figura 57). Las principales causantes de la disminución son la reducción de la producción de carbón de la minería subterránea y superficial, y la caída de la oferta de gas natural desde Argentina desde el año 2007.

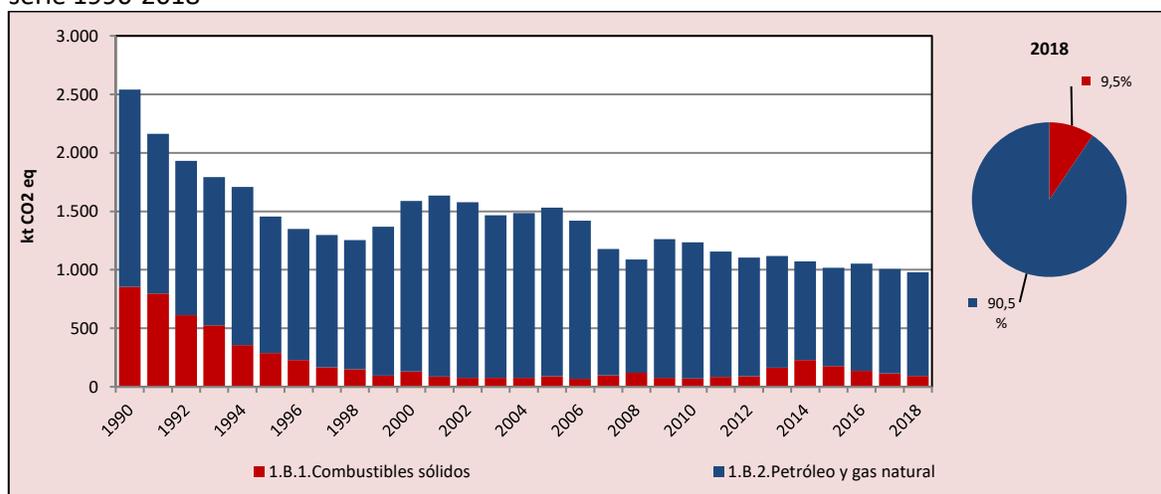
Las variaciones interanuales observadas se deben principalmente a cambios en la oferta del gas natural, en especial en el periodo entre 2000 y 2007 por el ingreso y posterior corte de gas natural desde Argentina.

Tabla 94. 1.B. Emisiones fugitivas de combustibles: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| 1.B.1. Combustibles sólidos | 855,5 | 131,8 | 71,0 | 163,6 | 137,2 | 114,8 | 92,8 |
| 1.B.2. Petróleo y gas natural | 1.685,0 | 1.456,7 | 1.164,7 | 955,7 | 915,5 | 891,9 | 887,3 |
| Total | 2.540,4 | 1.588,6 | 1.235,7 | 1.119,3 | 1.052,7 | 1.006,8 | 980,1 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 57. 1.B. Emisiones fugitivas de combustibles: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.3.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría *Emisiones fugitivas* se aplicó una metodología Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* con factores de emisión por defecto. Las ecuaciones presentadas en las *Directrices*, a diferencia de la categoría *Actividades de Quema de combustible*, se encuentran descritas por subcategoría por lo que en este informe se presentan de la misma forma. En la Tabla 95 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 95. 1.B. Emisiones fugitivas de combustibles: métodos aplicados por subcategoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|---|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 1.B. Emisiones fugitivas de combustibles | T1, NA, NE, NO | D, NA, NE, NO | T1, NA, NE, NO | D, NA, NE, NO | NA, NE, NO | NA, NE, NO |
| 1.B.1. Combustibles sólidos | NA, NE | NA, NE | T1, NA, NE, NO | D, NA, NE, NO | NA | NA |
| 1.B.2. Petróleo y gas natural | T1, NE, | D, NE, | T1, NE | D, NE | NA, NE | NA, NE |
| 1.B.3. Otras emisiones provenientes de la producción de energía | NO | NO | NO | NO | NO | NO |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de planillas Excel.

3.3.4. Combustibles sólidos (1.B.1.)

3.3.4.1. Descripción de la subcategoría

En la formación del carbón los procesos geológicos producen a la vez metano (CH₄) el que se libera durante la extracción, procesamiento y distribución del carbón e incluso después de abandonada la mina.

En la Tabla 96 se presentan los componentes y su relación con los datos nacionales que lo comprenden.

Tabla 96. 1.B.1. Combustibles sólidos: componentes y supuestos relevantes

| Componente | Definición IPCC | Observaciones |
|--|---|---|
| 1.B.1.a. Minería carbonífera y manejo del carbón | Incluye todas las emisiones fugitivas de carbón. | |
| 1.B.1.a.i. Minas subterráneas | Incluye la extracción, pos-extracción, minas abandonadas y quema de foga de metano | Producción de carbón en las regiones VIII y X |
| 1.B.1.a.i.1. Minería | Incluye emisiones de gas por las grietas venteado por sistema de ventilación y desgasificación | |
| 1.B.1.a.i.2. Emisiones de gas de carbono posteriores a la minería | Emisiones de CH ₄ y CO ₂ del carbón extraído, procesado, almacenado y transportado | |
| 1.B.1.a.ii. Minas de superficie | Incluye emisiones de gas por grietas. | Producción de carbón en la región XII |
| 1.B.1.a.ii.1. Minería | Emisiones de CH ₄ y CO ₂ en la extracción, de los estratos involucrados y por fuga. | |
| 1.B.1.a.ii.2. Emisiones de gas de carbono posteriores a la minería | Emisiones de CH ₄ y CO ₂ del carbón extraído, procesado, almacenado y transportado | |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.3.4.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de la subcategoría contabilizaron 92,8 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 89,1 % desde 1990 y en un 32,3 % desde 2016 (Tabla 97 y Figura 58). Esta disminución se debe a que la producción de carbón en Chile ha ido disminuyendo de forma considerable, proceso por el cual se han cerrado minas, debido al aumento de producción internacional y a la falta de competitividad del sector. El aumento de producción de 2013 y 2014 se debe a la apertura de la mina Invierno, principal mina de extracción de carbón en Chile ubicada en la región de Aysén, la cual

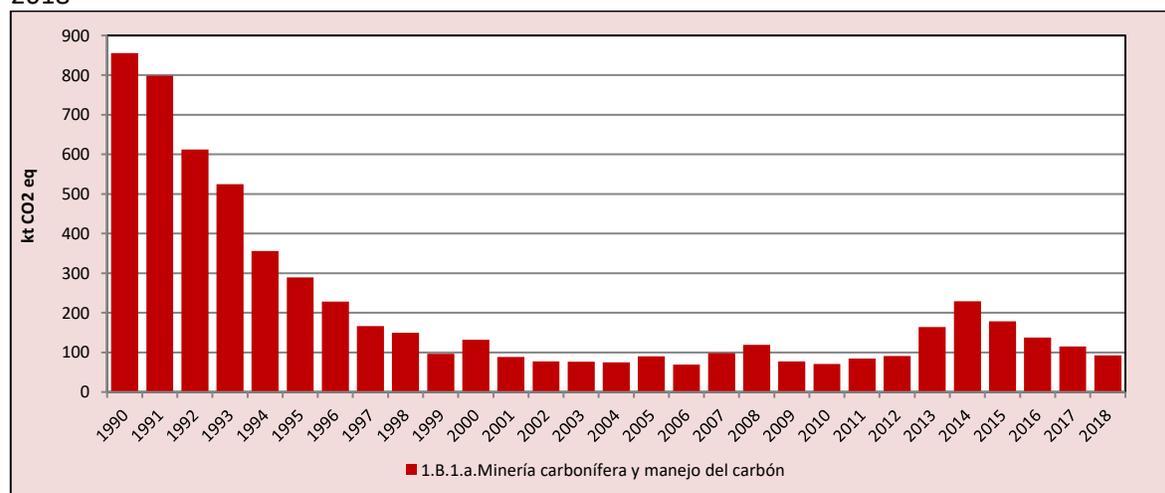
no pudo sostener sus niveles de producción de esos años, decayendo en los años posteriores a los niveles previos a su apertura.

Tabla 97. 1.B.1. Combustibles sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| 1.B.1.a. Minería carbonífera y manejo del carbón | 855,5 | 131,8 | 71,0 | 163,6 | 137,2 | 114,8 | 92,8 |
| Total | 855,5 | 131,8 | 71,0 | 163,6 | 137,2 | 114,8 | 92,8 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 58. 1.B.1. Combustibles sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.3.4.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* Ecuación 4.1.1; Capítulo 4; Volumen 2; usando datos de actividad desde la producción de carbón de anuarios de la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO) y factores de emisión por defecto.

La Tabla 98 resume los métodos que se usaron para cada componente de la subcategoría. En las minas de carbón no se libera espontáneamente N₂O por lo que en esta subcategoría no aplica calcular sus emisiones. Emisiones de CO₂ se espera que existan, pero en niveles no significativos por lo que tampoco se calculan.

Tabla 98. 1.B.1. Combustibles sólidos: métodos aplicados por componente

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|---|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 1.B.1. Combustibles sólidos | NA, NE | NA, NE | T1, NA, NE, NO | D, NA, NE, NO | NA | NA |
| 1.B.1.a. Minería carbonífera y manejo del carbón | NA | NA | T1, NE, NO | D, NE, NO | | |
| 1.B.1.a.i. Minas subterráneas | NA | NA | T1, NE, NO | D, NE, NO | | |
| 1.B.1.a.i.1. Minería | NA | NA | T1 | D | | |
| 1.B.1.a.i.2. Emisiones de gas de carbono posteriores a la minería | NA | NA | T1 | D | | |

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 1.B.1.a.i.3. Minas subterráneas abandonadas | NA | NA | NE | NE | | |
| 1.B.1.a.i.4. Quema en antorcha de metano drenado o conversión de metano en CO ₂ | NA | NA | NO | NO | | |
| 1.B.1.a.ii. Minas de superficie | NA | NA | T1 | D | | |
| 1.B.1.a.ii.1. Minería | NA | NA | T1 | D | | |
| 1.B.1.a.ii.2. Emisiones de gas de carbono posteriores a la minería | NA | NA | T1 | D | | |
| 1.B.1.b. Combustión espontánea y vertederos para quema de carbón | NE | NE | NA | NA | NA | NA |
| 1.B.1.c. Otros | NA | NA | NA | NA | NA | NA |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de planillas Excel.

3.3.4.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

La fuente de datos de actividad para la subcategoría *Combustibles sólidos* fue el *Anuario estadístico del cobre y otros minerales*, elaborado por la COCHILCO. Este anuario informa una serie de tiempo de 20 años, por lo que se consultaron las series 1990-2009, 1991-2010 y 1992-2017 (COCHILCO, 2017). En este se reportan las toneladas de carbón extraído en un año por región y se asume que la extracción de las regiones VIII y X son subterráneas y la de la XIII superficial. Esto debido a las minas existentes en cada región (Catamutun, 1999). La Tabla 99 presenta los valores correspondientes.

Tabla 99. 1.B.1. Combustibles sólidos: datos de actividad de producción de carbón (t) por componente, serie 1990-2018

| Años | 1.B.1.a.i.1 | 1.B.1.a.i.2 | 1.B.1.a.ii.1 | 1.B.1.a.ii.2 |
|------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| | Minería | Posminería | Minería | Posminería |
| 1990 | 1.597.430,0 | 1.597.430,0 | 1.131.870,0 | 1.131.870,0 |
| 1991 | 1.477.720,0 | 1.477.720,0 | 1.262.850,0 | 1.262.850,0 |
| 1992 | 1.133.200,0 | 1.133.200,0 | 974.890,0 | 974.890,0 |
| 1993 | 971.800,0 | 971.800,0 | 821.270,0 | 821.270,0 |
| 1994 | 629.540,0 | 629.540,0 | 1.033.420,0 | 1.033.420,0 |
| 1995 | 502.980,0 | 502.980,0 | 981.940,0 | 981.940,0 |
| 1996 | 377.030,0 | 377.030,0 | 1.067.050,0 | 1.067.050,0 |
| 1997 | 250.870,0 | 250.870,0 | 1.162.300,0 | 1.162.300,0 |
| 1998 | 225.880,0 | 225.880,0 | 1.046.515,0 | 1.046.515,0 |
| 1999 | 167.060,0 | 167.060,0 | 340.290,0 | 340.290,0 |
| 2000 | 240.600,0 | 240.600,0 | 262.750,0 | 262.750,0 |
| 2001 | 145.270,0 | 145.270,0 | 422.820,0 | 422.820,0 |
| 2002 | 129.940,0 | 129.940,0 | 321.690,0 | 321.690,0 |
| 2003 | 136.500,0 | 136.500,0 | 210.780,0 | 210.780,0 |
| 2004 | 140.190,0 | 140.190,0 | 98.120,0 | 98.120,0 |
| 2005 | 138.056,0 | 138.056,0 | 594.309,0 | 594.309,0 |
| 2006 | 98.673,0 | 98.673,0 | 575.071,0 | 575.071,0 |
| 2007 | 184.122,0 | 184.122,0 | 103.871,0 | 103.871,0 |
| 2008 | 212.375,0 | 212.375,0 | 321.417,0 | 321.417,0 |
| 2009 | 118.305,0 | 118.305,0 | 517.769,0 | 517.769,0 |
| 2010 | 106.018,0 | 106.018,0 | 512.775,0 | 512.775,0 |
| 2011 | 131.430,0 | 131.430,0 | 522.672,0 | 522.672,0 |
| 2012 | 141.120,0 | 141.120,0 | 570.594,0 | 570.594,0 |
| 2013 | 144.313,0 | 144.313,0 | 2.758.131,0 | 2.758.131,0 |
| 2014 | 194.747,0 | 194.747,0 | 3.973.438,0 | 3.973.438,0 |
| 2015 | 157.017,0 | 157.017,0 | 3.004.709,0 | 3.004.709,0 |

| Años | 1.B.1.a.i.1 | 1.B.1.a.i.2 | 1.B.1.a.ii.1 | 1.B.1.a.ii.2 |
|------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| | Minería | Posminería | Minería | Posminería |
| 2016 | 114.887,0 | 114.887,0 | 2.410.284,0 | 2.410.284,0 |
| 2017 | 70.281,0 | 70.281,0 | 2.425.109,0 | 2.425.109,0 |
| 2018 | 38.021,0 | 38.021,0 | 2.256.656,0 | 2.256.656,0 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.3.4.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión usados para el cálculo de las emisiones de GEI fueron los valores por defecto proporcionados por las *Directrices del IPCC de 2006*, diferenciando las actividades consideradas, las características socioeconómicas del país (en vías de desarrollo) y se aplicó el factor promedio. La Tabla 100 presenta los factores de emisión usados.

Tabla 100. 1.B.1. Combustibles sólidos: factores de emisión usados para la estimación de GEI de la subcategoría

| Tipo de mina | Característica | CH ₄ (m ³ /t) |
|--------------|----------------|-------------------------------------|
| Subterránea | Minería | 18,0 |
| Subterránea | Posminería | 2,5 |
| Superficie | Minería | 1,2 |
| Superficie | Posminería | 0,1 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en las *Directrices del IPCC de 2006* (página 4.12, 4.18 y 4.19; Capítulo 4; Volumen 2)

3.3.4.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, se presenta en la Tabla 101.

Tabla 101. 1.B.1. Combustibles sólidos: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|----------------------|-----------------|---|------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 1.B.1. | Combustibles sólidos | CH ₄ | 2,0% | 2,0% | 60,0% | 300,0% | 60,0% | 300,0% |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

La incertidumbre de los datos de actividad proviene de los datos por defecto de las *Directrices del IPCC 2006*. Como solo se trata de tres datos por año, y estas cantidades provienen de una fuente confiable, el error asociado es bastante bajo, siendo ± 2 % (página 4.16; Capítulo 4; Volumen 2).

Con respecto a los factores de emisión, se usaron FE por defecto de las *Directrices del IPCC 2006*. Se determinó usar un error proporcional a un factor 3 lo que equivale entre -60 % a +300 % (Cuadro 4.1.2; Capítulo 4; Volumen 2).

3.3.4.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

3.3.4.6. Recálculos

En esta subcategoría no hubo cambios respecto al INGEI anterior.

3.3.5. Petróleo y gas natural (1.B.2.)

3.3.5.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría comprende las emisiones fugitivas provenientes de todas las actividades de petróleo y gas natural con excepción de los aportes de la quema de combustible. Estos sistemas comprenden toda la infraestructura necesaria para producir, recopilar, procesar o refinar y llevar al mercado el gas natural y los productos derivados del petróleo. Las fuentes primarias de estas emisiones pueden incluir las fugas de equipos, pérdidas por evaporación, el venteo, la quema y las emisiones accidentales. En la Tabla 102 se presentan los componentes y su relación con los datos nacionales que lo comprenden.

Tabla 102. 1.B.2. Petróleo y gas natural: componentes y supuestos relevantes

| Componente | Definición IPCC | Observaciones |
|--|--|--|
| 1.B.2.a. Petróleo | Emisiones por venteo, quema en antorcha y emanaciones por exploración, producción, transmisión, concentración, refinación del petróleo crudo y distribución de productos. | |
| 1.B.2.a.i. Venteo | Venteo de corrientes y desecho de gas vinculadas a instalaciones petroleras | (Balance Primario de energía en unidades físicas) Producción bruta de petróleo |
| 1.B.2.a.ii. Quema en antorcha | Emisiones producidas por la quema en antorcha de gas natural y corrientes de desecho de gas / vapor en instalaciones petroleras. | (Balance Primario de energía en unidades físicas) Producción bruta de petróleo |
| 1.B.2.a.iii. Todos los demás | Incluye fugas de equipos, pérdidas en almacenamiento, fugas en oleoductos, explosiones de pozos y todas las emisiones fugitivas no justificadas como venteo o quema de antorcha. | |
| 1.B.2.a.iii.2. Producción y refinación | Emisiones fugitivas desde los pozos o minas hasta inicio sistema de transmisión. | (Balance Primario de energía en unidades físicas) Producción bruta de petróleo |
| 1.B.2.a.iii.3. Transporte | Transporte de crudo para su comercialización a refinerías incluyendo oleoductos, buques, camiones. Considera evaporación en descarga y llenado. | (Balance Primario de energía en unidades físicas) Consumo bruto de petróleo |
| 1.B.2.a.iii.4. Refinación | Emisiones fugitivas en refinerías de petróleo. | (Balance Primario de energía en unidades físicas) Consumo bruto de petróleo |
| 1.B.2.b. Gas natural | Emisiones por venteo, quema en antorcha y emanaciones por exploración, producción, transmisión, procesamiento y almacenamiento del gas natural. | |
| 1.B.2.b.i. Venteo | Venteo de corrientes y desecho de gas vinculadas a instalaciones de gas. | (Balance Primario de energía en unidades físicas) Producción bruta de gas natural |
| 1.B.2.b.ii. Quema en Antorcha | Emisiones por la quema en antorcha de gas natural y corrientes de desecho de gas / vapor en instalaciones de gas. | (Balance Primario de energía en unidades físicas) Producción bruta de gas natural |
| 1.B.2.b.iii. Todos los demás | Incluye fugas de equipos, pérdidas en almacenamiento, fugas en gasoductos, explosiones de pozos y todas las emisiones fugitivas no justificadas como venteo o quema de antorcha. | |
| 1.B.2.b.iii.2. Producción y refinación | Emisiones fugitivas desde los pozos hasta plantas procesadoras o inicio sistema de transmisión. | (Balance Primario de energía en unidades físicas) Producción bruta de gas natural |
| 1.B.2.b.iii.3. Procesamiento | Emisiones fugitivas de instalaciones de procesamiento de gas. | (Balance Primario de energía en unidades físicas) Consumo bruto de gas natural |

| Componente | Definición IPCC | Observaciones |
|---|--|---|
| 1.B.2.b.iii.4. Transmisión y almacenamiento | Emanaciones en sistemas de transporte de gas natural procesado a los mercados (sistemas de distribución o grandes consumidores) y el almacenamiento. | (Balance Primario de energía en unidades físicas) Consumo bruto de gas natural |
| 1.B.2.b.iii.5. Distribución | Emanaciones en la distribución a usuarios finales. | (Balance Primario de energía en unidades físicas) Consumo bruto de gas natural |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.3.5.2. Tendencia de las emisiones de GEI

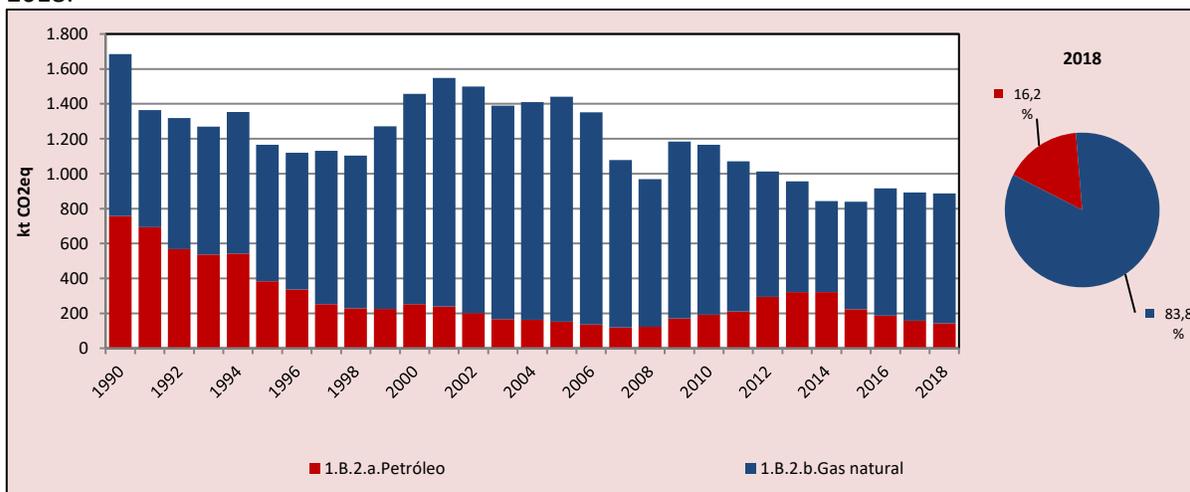
En 2018, las emisiones de GEI de la subcategoría contabilizaron 887,3 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 43,3 % desde 1990 y en un 17,9 % desde 2016 (Tabla 103 y Figura 59).

Tabla 103. 1.B.2. Petróleo y gas natural: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1.B.2.a.Petróleo | 757,6 | 253,0 | 192,1 | 322,0 | 187,2 | 157,3 | 143,7 |
| 1.B.2.b.Gas natural | 927,4 | 1.203,7 | 972,6 | 633,7 | 728,3 | 734,7 | 743,6 |
| Total | 1.685,0 | 1.456,7 | 1.164,7 | 955,7 | 915,5 | 891,9 | 887,3 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 59. 1.B.2. Petróleo y gas natural: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.3.5.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* Ecuación 4.2.1; Capítulo 4; Volumen 2; usando datos de actividad desde el BNE y factores de emisión por defecto.

La Tabla 104 resume los métodos que se usaron para cada componente de la subcategoría. En varios componentes las emisiones de N₂O no aplican ya que emisiones de este GEI no ocurren en emisiones fugitivas, solo se generan en la quema de antorcha. En general muchas de las subcategorías o componentes no se estimaron ya que, por ser una categoría que tiene baja incidencia en el resultado final, los esfuerzos se enfocaron en mejorar aquellas categorías de mayor impacto.

Tabla 104. 1.B.2. Petróleo y gas natural: métodos aplicados por componente

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 1.B.2. Petróleo y gas natural | T1, NE | D, NE | T1, NE | D, NE | NA, NE | NA, NE |
| 1.B.2.a. Petróleo | T1, NE | D, NE | T1, NE | D, NE | NA, NE | NA, NE |
| 1.B.2.a.i. Venteo | T1 | D | T1 | D | | |
| 1.B.2.a.ii. Quema en antorcha | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.B.2.a.iii. Todos los demás | T1, NE | D, NE | T1, NE | D, NE | NA | NA |
| 1.B.2.a.iii.1. Exploración | NE | NE | NE | NE | | |
| 1.B.2.a.iii.2. Producción y refinación | T1 | D | T1 | D | NA | NA |
| 1.B.2.a.iii.3. Transporte | NE | NE | T1 | D | NA | NA |
| 1.B.2.a.iii.4. Refinación | NE | NE | T1 | D | | |
| 1.B.2.a.iii.5. Distribución de productos de petróleo | NE | NE | NE | NE | | |
| 1.B.2.a.iii.6. Otros | NE | NE | NE | NE | | |
| 1.B.2.b. Gas natural | T1, NE | D, NE | T1, NE | D, NE | NE | NE |
| 1.B.2.b.i. Venteo | T1 | D | T1 | D | | |
| 1.B.2.b.ii. Quema en antorcha | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 1.B.2.b.iii. Todos los demás | T1, NE | D, NE | T1, NE | D, NE | NE | NE |
| 1.B.2.b.iii.1. Exploración | NE | NE | NE | NE | | |
| 1.B.2.b.iii.2. Producción y refinación | T1 | D | T1 | D | | |
| 1.B.2.b.iii.3. Procesamiento | T1 | D | T1 | D | | |
| 1.B.2.b.iii.4. Transmisión y almacenamiento | NE | NE | T1 | D | | |
| 1.B.2.b.iii.5. Distribución | T1 | D | T1 | D | | |
| 1.B.2.b.iii.6. Otros | NE | NE | NE | NE | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de planillas Excel.

3.3.5.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

La fuente de datos de actividad para la subcategoría *Petróleo y gas natural* provienen de los BNE de las series anuales desde 1990 hasta el 2018, en donde se usaron los datos de producción de petróleo y gas natural respectivamente. Estos se obtienen en miles de m³ para el petróleo y en millones de m³ para el gas natural. La Tabla 105 y Tabla 106 presentan los valores correspondientes.

Tabla 105. 1.B.2. Petróleo y gas natural: datos de actividad de producción de *Petróleo* (miles de m³) por componente, serie 1990-2018

| Años | 1.B.2.a.i. | 1.B.2.a.ii. | 1.B.2.a.iii.2. | 1.B.2.a.iii.3. | 1.B.2.a.iii.4. |
|------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| | Venteo | Quema en antorcha | Producción y refinación | Transporte | Refinación |
| | Miles m ³ | Miles m ³ | Miles m ³ | Miles m ³ | Miles m ³ |
| 1990 | 1.000,40 | 1.000,40 | 1.000,40 | 7.329,54 | 7.329,54 |
| 1991 | 915,00 | 915,00 | 915,00 | 7.214,00 | 7.214,00 |
| 1992 | 748,00 | 748,00 | 748,00 | 7.423,00 | 7.423,00 |
| 1993 | 706,00 | 706,00 | 706,00 | 7.927,00 | 7.927,00 |
| 1994 | 714,00 | 714,00 | 714,00 | 8.451,00 | 8.451,00 |
| 1995 | 503,00 | 503,00 | 503,00 | 9.033,00 | 9.033,00 |
| 1996 | 438,00 | 438,00 | 438,00 | 9.394,00 | 9.394,00 |
| 1997 | 327,28 | 327,28 | 327,28 | 9.852,34 | 9.852,34 |
| 1998 | 294,00 | 294,00 | 294,00 | 10.680,00 | 10.680,00 |
| 1999 | 290,00 | 290,00 | 290,00 | 11.291,00 | 11.291,00 |
| 2000 | 326,00 | 326,00 | 326,00 | 11.345,00 | 11.345,00 |
| 2001 | 309,00 | 309,00 | 309,00 | 11.375,00 | 11.375,00 |

| Años | 1.B.2.a.i. | 1.B.2.a.ii. | 1.B.2.a.iii.2. | 1.B.2.a.iii.3. | 1.B.2.a.iii.4. |
|------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| | Venteo | Quema en antorcha | Producción y refinación | Transporte | Refinación |
| | Miles m ³ | Miles m ³ | Miles m ³ | Miles m ³ | Miles m ³ |
| 2002 | 257,00 | 257,00 | 257,00 | 11.311,00 | 11.311,00 |
| 2003 | 210,00 | 210,00 | 210,00 | 12.053,00 | 12.053,00 |
| 2004 | 205,35 | 205,35 | 205,35 | 12.034,82 | 12.034,82 |
| 2005 | 192,03 | 192,03 | 192,03 | 12.173,39 | 12.173,39 |
| 2006 | 168,70 | 168,70 | 168,70 | 12.585,39 | 12.585,39 |
| 2007 | 147,99 | 147,99 | 147,99 | 11.435,39 | 11.435,39 |
| 2008 | 153,53 | 153,53 | 153,53 | 11.894,90 | 11.894,90 |
| 2009 | 216,38 | 216,38 | 216,38 | 11.474,09 | 11.474,09 |
| 2010 | 246,59 | 246,59 | 246,59 | 9.711,75 | 9.711,75 |
| 2011 | 270,44 | 270,44 | 270,44 | 10.026,62 | 10.026,62 |
| 2012 | 383,53 | 383,53 | 383,53 | 9.887,07 | 9.887,07 |
| 2013 | 418,03 | 418,03 | 418,03 | 11.087,83 | 11.087,83 |
| 2014 | 417,80 | 417,80 | 417,80 | 11.238,77 | 11.238,77 |
| 2015 | 287,19 | 287,19 | 287,19 | 10.026,78 | 10.026,78 |
| 2016 | 239,86 | 239,86 | 239,86 | 9.947,31 | 9.947,31 |
| 2017 | 199,84 | 199,84 | 199,84 | 10.178,51 | 10.178,51 |
| 2018 | 181,68 | 181,68 | 181,68 | 10.330,11 | 10.330,11 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 106. 1.B.2. Petróleo y gas natural: datos de actividad de producción de *Gas natural* (millones de m³) por componente, serie 1990-2018

| Años | 1.B.2.b.i. | 1.B.2.b.ii. | 1.B.2.b.iii.2. | 1.B.2.b.iii.3. | 1.B.2.b.iii.4. | 1.B.2.b.iii.5. |
|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|
| | Venteo | Quema en antorcha | Producción y refinación | Procesamiento | Transmisión y almacenamiento | Distribución |
| | Millones m ³ | Millones m ³ |
| 1990 | 2.358,42 | 2.358,42 | 2.358,42 | 2.707,42 | 2.707,42 | 2.707,42 |
| 1991 | 1.772,00 | 1.772,00 | 1.772,00 | 1.567,00 | 1.567,00 | 1.567,00 |
| 1992 | 1.999,00 | 1.999,00 | 1.999,00 | 1.784,00 | 1.784,00 | 1.784,00 |
| 1993 | 1.951,00 | 1.951,00 | 1.951,00 | 1.717,00 | 1.717,00 | 1.717,00 |
| 1994 | 2.185,00 | 2.185,00 | 2.185,00 | 1.777,00 | 1.777,00 | 1.777,00 |
| 1995 | 2.103,00 | 2.103,00 | 2.103,00 | 1.722,00 | 1.722,00 | 1.722,00 |
| 1996 | 2.112,00 | 2.112,00 | 2.112,00 | 1.743,00 | 1.743,00 | 1.743,00 |
| 1997 | 2.227,00 | 2.227,00 | 2.227,00 | 2.579,23 | 2.579,23 | 2.579,23 |
| 1998 | 1.992,00 | 1.992,00 | 1.992,00 | 3.661,00 | 3.661,00 | 3.661,00 |
| 1999 | 2.246,00 | 2.246,00 | 2.246,00 | 5.001,00 | 5.001,00 | 5.001,00 |
| 2000 | 2.436,00 | 2.436,00 | 2.436,00 | 6.456,00 | 6.456,00 | 6.456,00 |
| 2001 | 2.582,00 | 2.582,00 | 2.582,00 | 7.318,00 | 7.318,00 | 7.318,00 |
| 2002 | 2.539,00 | 2.539,00 | 2.539,00 | 7.380,00 | 7.380,00 | 7.380,00 |
| 2003 | 2.176,00 | 2.176,00 | 2.176,00 | 7.984,00 | 7.984,00 | 7.984,00 |
| 2004 | 2.104,37 | 2.104,37 | 2.104,37 | 8.666,59 | 8.666,59 | 8.666,59 |
| 2005 | 2.293,99 | 2.293,99 | 2.293,99 | 8.383,75 | 8.383,75 | 8.383,75 |
| 2006 | 2.198,86 | 2.198,86 | 2.198,86 | 7.758,35 | 7.758,35 | 7.758,35 |
| 2007 | 2.064,27 | 2.064,27 | 2.064,27 | 4.573,18 | 4.573,18 | 4.573,18 |
| 2008 | 2.108,43 | 2.108,43 | 2.108,43 | 2.654,39 | 2.654,39 | 2.654,39 |
| 2009 | 2.523,09 | 2.523,09 | 2.523,09 | 3.218,85 | 3.218,85 | 3.218,85 |
| 2010 | 1.948,15 | 1.948,15 | 1.948,15 | 5.310,78 | 5.310,78 | 5.310,78 |
| 2011 | 1.581,47 | 1.581,47 | 1.581,47 | 5.372,58 | 5.372,58 | 5.372,58 |
| 2012 | 1.231,65 | 1.231,65 | 1.231,65 | 4.879,49 | 4.879,49 | 4.879,49 |
| 2013 | 965,35 | 965,35 | 965,35 | 4.890,23 | 4.890,23 | 4.890,23 |
| 2014 | 790,15 | 790,15 | 790,15 | 4.049,29 | 4.049,29 | 4.049,29 |
| 2015 | 1.006,48 | 1.006,48 | 1.006,48 | 4.440,79 | 4.440,79 | 4.440,79 |
| 2016 | 1.204,64 | 1.204,64 | 1.204,64 | 5.172,03 | 5.172,03 | 5.172,03 |
| 2017 | 1.225,61 | 1.225,61 | 1.225,61 | 5.168,27 | 5.168,27 | 5.168,27 |
| 2018 | 1.249,49 | 1.249,49 | 1.249,49 | 5.188,59 | 5.188,59 | 5.188,59 |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.3.5.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión usados para el cálculo de las emisiones de GEI fueron los valores por defecto proporcionados por las *Directrices del IPCC de 2006*, diferenciando las actividades consideradas y las características socioeconómicas del país (en vías de desarrollo). La Tabla 107 y la Tabla 108 presentan los factores de emisión utilizado.

Tabla 107. 1.B.2. Petróleo y gas natural: factores de emisión usados para la estimación de GEI del componente *Petróleo*

| Segmento de la Industria | Característica | Factor de emisión escogido | | |
|--------------------------|-----------------------|--|--|---|
| | | CO ₂ (kt/10 ³ m ³) | CH ₄ (kt/10 ³ m ³) | N ₂ O (kt/10 ³ m ³) |
| Venteo | Valor ponderado | 0,00215 | 0,0104 | - |
| Quema en Antorcha | | 48,5 | 0,03 | 0,001 |
| Producción y mejora | Petróleo convencional | 0,002 | 0,03 | - |
| Transporte | Tuberías | - | 0,000005 | - |
| Refinamiento | Todo | - | 0,000022 | - |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 4.2.5; Capítulo 4; Volumen 2)

Tabla 108. 1.B.2. Petróleo y gas natural: factores de emisión usados para la estimación de GEI del componente *Gas natural*

| Segmento de la Industria | Característica | Factor de emisión escogido | | |
|------------------------------|--------------------------------|--|--|---|
| | | CO ₂ (kt/10 ³ m ³) | CH ₄ (kt/10 ³ m ³) | N ₂ O (kt/10 ³ m ³) |
| Venteo | Transmisión | 0,0000052 | 0,0003900 | - |
| Quema en Antorcha | | 1,40 | 0,000880 | 0,000002 |
| Producción | Todo | 0,0000970 | 0,1220000 | - |
| Procesamiento | Transmisión | 0,0000200 | 0,0002500 | - |
| Transmisión y almacenamiento | Valor Ponderado de transmisión | - | 0,0006330 | - |
| Distribución | Todo | 0,0000950 | 0,0018000 | - |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 4.2.5; Capítulo 4; Volumen 2)

3.3.5.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para cada componente y para cada GEI. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 109.

Tabla 109. 1.B.2. Petróleo y gas natural: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------|------------------|---|------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 1.B.2.a. | Petróleo | CO ₂ | 5,0% | 5,0% | 75,0% | 75,0% | 75,2% | 75,2% |
| 1.B.2.a. | Petróleo | CH ₄ | 5,0% | 5,0% | 75,0% | 75,0% | 75,2% | 75,2% |
| 1.B.2.a. | Petróleo | N ₂ O | 5,0% | 5,0% | 75,0% | 75,0% | 75,2% | 75,2% |
| 1.B.2.b. | Gas natural | CO ₂ | 5,0% | 5,0% | 40,0% | 250,0% | 40,3% | 250,0% |
| 1.B.2.b. | Gas natural | CH ₄ | 5,0% | 5,0% | 40,0% | 250,0% | 40,3% | 250,0% |
| 1.B.2.b. | Gas natural | N ₂ O | 5,0% | 5,0% | 40,0% | 250,0% | 40,3% | 250,0% |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

La incertidumbre de los datos de actividad proviene de los datos por defecto de las *Directrices del IPCC 2006*. Como son datos provenientes del BNE, la incertidumbre se fijó en $\pm 5\%$ (Sección 4.2.2.7.2; Capítulo 4; Volumen 2).

Con respecto a los factores de emisión, se usaron FE por defecto de las *Directrices del IPCC 2006*. Se determinó usar para *Petróleo* $\pm 75\%$ y para *Gas natural* -40% y $+250\%$ (Cuadro 4.1.5; Capítulo 4; Volumen 2).

En conclusión, la mayor fuente de incertidumbre en las estimaciones de GEI de la subcategoría proviene del uso de factores de emisión por defecto.

3.3.5.5. Consistencia de la serie temporal

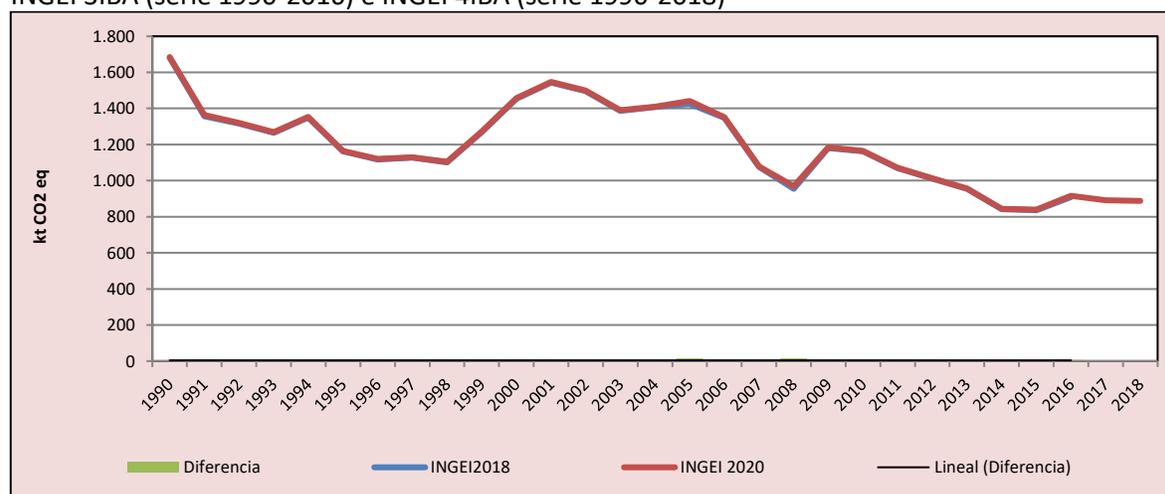
Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

3.3.5.6. Recálculos

3.3.5.6.1. Justificaciones e implicaciones en los niveles de emisiones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta categoría el único cambio ocurrido corresponde a la incorporación de la estimación por quema en antorcha tanto en la producción de petróleo y gas natural. Esta inclusión no significó grandes variaciones en las emisiones de la categoría, en donde las diferencias nunca superaron el 1% respecto al INGEI 3IBA, tal como se puede apreciar en la Figura 60.

Figura 60 1.B.2. Petróleo y gas natural: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.3.6. Otras emisiones provenientes de la producción de energía (1.B.3.)

Esta categoría no ocurre en el país.

3.4. Transporte y almacenamiento de CO₂ (1.C.)

Esta categoría no ocurre en el país.

3.5. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

3.5.1. Control de la calidad en Actividades de quema de combustible (1.A)

Durante la actualización del ISGEI de Energía se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Energía. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_1ENER*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Verificación de manejo, entrada y recopilación de datos:

- Revisión detallada de cada archivo anual del BNE, con el fin de contar con las especificaciones correctas de cada información.
- Crear tablas de referencia automáticas para los valores comunes que se utilizan en los cálculos.
- Chequeo de la importación de datos desde los BNE a la planilla anual consolidada.
- Verificar que los datos o parámetros que se repiten en varios años sean consistentes
- Verificar en manejo de datos que los totales coincidan (chequeo cruzado) tanto para traspaso de datos como para desagregaciones o agregaciones.
- Chequeos cruzados entre planillas de datos y cálculo, junto con chequeos dentro de hojas y libros.

Verificación de cálculos:

- Verificar los cambios metodológicos y de datos que resultan en recálculos.
- Verificar si existe alguna tendencia inusual o inexplicable reportada para los datos de actividad u otros parámetros a través de la serie temporal. Comparación de resultados con procedimiento anterior y el actual
- Comparación de resultados del método sectorial versus *Método de referencia* para toda la categoría.

Verificación de la documentación:

- Verificar que existe documentación para respaldar y permitir la duplicación de los cálculos.
- Verificar que los datos de inventario, datos de respaldo y registros de inventarios sean archivados y almacenados para facilitar una revisión detallada.
- Verificar que el archivo sea cerrado y se conserve en un lugar seguro tras la finalización del inventario.

Verificación del informe:

- Verificar que las tablas e imágenes del informe correspondan a los últimos valores actualizados.
- Verificar los títulos de las tablas y figuras para ver la exactitud y la coherencia del contenido.

- Verificar la coherencia de las referencias y que las citas de texto y referencias coincidan.

Verificación adicional (1.A.3):

- Evaluar si las condiciones nacionales son similares a las utilizadas para desarrollar los factores por defecto del IPCC.
- Revisar cambios significativos (> 10%) en las estimaciones anuales para categorías y subcategorías.
- Comparar estimaciones realizadas con enfoques “top-down” y “bottom-up” para verificar que sean de similares órdenes de magnitudes.

3.5.1.1. Control de la calidad en Emisiones fugitivas (1.B)

Durante la actualización del ISGEI de Energía se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Energía. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_1ENER*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Verificación de manejo, entrada y recopilación de datos:

- Revisión detallada de cada archivo de los anuarios de COCHILCO y BNE anuales, con el fin de contar con las especificaciones correctas de cada información.
- Crear tablas de referencia automáticas para los valores comunes que se utilizan en los cálculos.
- Chequeo de la importación de datos desde los anuarios de COCHILCO y BNE a la planilla anual consolidada.
- Verificar que los datos o parámetros que se repiten en varios años sean consistentes
- Verificar en manejo de datos que los totales coincidan (chequeo cruzado) tanto para traspaso de datos como para desagregaciones o agregaciones.

Verificación de cálculos:

- Verificar si existe alguna tendencia inusual o inexplicable reportada para los datos de actividad u otros parámetros a través de la serie temporal. Comparación de resultados con procedimiento anterior y el actual

Verificación de la documentación:

- Verificar que existe documentación para respaldar y permitir la duplicación de los cálculos.
- Verificar que los datos de inventario, datos de respaldo y registros de inventarios sean archivados y almacenados para facilitar una revisión detallada.
- Verificar que el archivo sea cerrado y se conserve en un lugar seguro tras la finalización del inventario.

Verificación del informe:

- Verificar que las tablas e imágenes del informe correspondan a los últimos valores actualizados.
- Verificar los títulos de las tablas y figuras para ver la exactitud y la coherencia del contenido.
- Verificar la coherencia de las referencias y que las citas de texto y referencias coincidan.

3.5.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Energía*, el Equipo Técnico de Energía ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Energía como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_1ENER*. Un resumen del estado de avance de cada recomendación se encuentra en el ANEXO 11.02.

3.5.3. Verificación

Como método de verificación se considera lo realizado en el punto 3.2.5 respecto a la comparación entre el total de la categoría con datos de la AIE. Esta comparación es por categoría y no subcategoría, pero es la única información disponible con la cual contrastar lo generado.

3.6. Plan de mejora continua

3.6.1. Industrias de la energía (1.A.1)

Con base en las recomendaciones como resultado de los procesos de revisión externa (garantía de la calidad) y al análisis propio del Equipo Técnico de Energía, el plan de mejoramiento de sector *Energía* se basa en su mayoría a acciones para lograr obtener los factores de emisión país específico de los combustibles utilizados a nivel nacional, dado su relevancia en el aporte de emisiones y por su categorización como categoría principal del país. Para ello se encuentra en curso la realización de una memoria de pregrado dedicada a la obtención de los factores de emisiones país para los siguientes combustibles: diésel, gasolina de motor, jet querosene y petróleo combustible.

Junto con esto, queda pendiente para la futura actualización revisar la pertinencia de ciertos combustibles poco usuales dentro de esta categoría (dentro de los cuales se incluyen gasolina para motor, queroseno para motor a reacción, nafta y alquitrán) en base a la revisión experta ocurrida durante el año 2019.

3.6.2. Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2)

La mejora que se encuentra pendiente para la futura actualización es la de revisar la pertinencia del uso de metanol en esta categoría, averiguando si efectivamente el metanol indicado corresponde al ligno-celulósico o petroquímico, y si efectivamente éste es utilizado dentro de la categoría *Industria no especificada (1.A.2.m)*.

3.6.3. Transporte (1.A.3)

Con base en las recomendaciones como resultado de los procesos de revisión externa (garantía de la calidad) y al análisis propio del Equipo Técnico de Energía, el plan de mejoramiento de sector *Energía* se basa en su mayoría a acciones para mejorar la calidad de las estadísticas energéticas nacionales mediante el mejoramiento del BNE.

Mejoras específicas para esta subcategoría son las siguientes:

- Mejorar desagregación de *Transporte terrestre*: en el INGEI se pueden mejorar los datos asociados a *Transporte terrestre*, donde se destaca el desarrollo de:
 - Consumo de combustibles distintos al diésel y la gasolina para motor en vehículos a todo terreno.
 - Variación en los años de parámetros de rendimiento y nivel de actividad.
 - Usar promedio ponderado entre los datos paramétricos entregador por región.
- Revisión pendiente a los datos de aduanas respecto a la identificación de vuelos o viajes marinos con destino hacia o desde la Antártica o islas lejanas al territorio continental (tales como Juan Fernández e Isla de Pascua), los cuales deben ser excluidos de los anexos internacionales.
- Evaluar las formas de poder estimar las emisiones de vuelos y navegación a través de los criterios de origen–destino indicados según las *Directrices del IPCC de 2006*.

3.6.4. Otros sectores (1.A.4)

Mejoras específicas para la presente subcategoría no se contemplan en la actualidad.

3.6.5. No especificado (1.A.5)

Mejoras específicas para la presente subcategoría no se contemplan en la actualidad

3.6.6. Combustibles sólidos (1.B.1)

Mejoras específicas para la presente subcategoría no se contemplan en la actualidad.

3.6.7. Petróleo y gas natural (1.B.2)

Mejoras específicas para la presente subcategoría no se contemplan en la actualidad.

3.6.8. Resumen del Plan de mejoramiento continuo

En la siguiente tabla se resumen las actividades pendientes a realizar en los futuros procesos, pensando en medidas de corto, mediano y largo plazo:

Tabla 110. Resumen de plan de mejora

| Componente | Descripción | Plazo | Observaciones |
|--|---|---------------------|--|
| 1.A.1 Industrias de la energía | Revisión de consumo de combustibles poco convencionales dentro de la serie histórica. | Corto plazo | - |
| 1.A.1 Industrias de la energía | Obtención de FE específicos para los principales combustibles del país (tales como carbón, diésel, gas natural, etc.) | Mediano-largo plazo | Si bien es una actividad prioritaria, es difícil tener una certeza de poder obtener dichos datos en el mediano o largo plazo por factibilidades tanto económicas como de recursos humanos. |
| 1.A.2 Industrias manufactureras y de la construcción | Revisar la pertinencia del uso de Metanol dentro de la categoría. | Corto plazo | - |
| 1.A.2 Industrias manufactureras y de la construcción | Incluir el sector de agroindustria, el cual se desagregó en el BNE a partir del año 2017. | Mediano plazo | Es necesario obtener una mayor cantidad de años con esta información para poder realizar una extrapolación histórica. |
| 1.A.3 Transporte | Mejorar desagregación de Transporte terrestre: a través de las siguientes actividades <ul style="list-style-type: none"> • Revisar la asignación del consumo de combustibles distintos al diésel y la gasolina para motor en vehículos todo terreno. • Variación en los años de parámetros de rendimiento y nivel de actividad. • Usar promedio ponderado entre los datos paramétricos | Corto plazo | - |

| Componente | Descripción | Plazo | Observaciones |
|------------------|--|----------------------|---|
| | entregador por región. | | |
| 1.A.3 Transporte | Revisión pendiente a los datos de aduanas respecto a la identificación de vuelos o viajes marinos con destino hacia o desde la Antártica o islas lejanas al territorio continental (tales como Juan Fernández e Isla de Pascua), los cuales deben ser excluidos de los anexos internacionales. | Corto-Mediano plazo. | Actividad dependerá de los datos obtenidos mediante aduanas y de la factibilidad de obtener los antecedentes necesarios para separar los consumos a dichas localidades. |
| 1.A.3 Transporte | Evaluar las formas de poder estimar las emisiones de vuelos y navegación a través de los criterios de origen-destino indicados según las Directrices del IPCC 2006. | Mediano plazo. | Dependerá de si es posible obtener los antecedentes necesarios para aplicar esta metodología. |

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

4. SECTOR PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS (2)

4.1. Panorama general

4.1.1. Introducción

El sector Procesos industriales y uso de productos (IPPU) incluye, por un lado, los GEI emitidos por procesos industriales que transforman materias primas por medios químicos o físicos, exceptuando la combustión que se considera en el sector Energía. Por otro lado, considera las emisiones por el uso de GEI en productos como refrigerantes y aislantes eléctricos o usos no energéticos del carbono contenido en los combustibles.

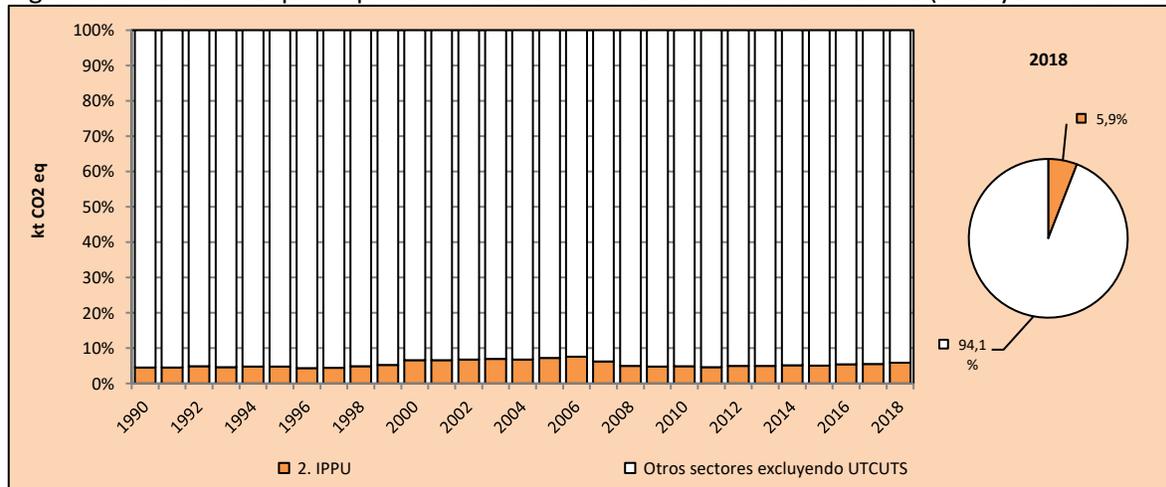
Durante los procesos mencionados puede emitirse una gran variedad de GEI, incluidos el CO₂, CH₄, N₂O, hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

En el contexto nacional, en este sector se incluyen las emisiones de los procesos de la industria química (producción de ácido nítrico y petroquímicos), industria de los metales (hierro y acero, ferroaleaciones y plomo), industria de los minerales (cemento, cal y vidrio), uso de productos no energéticos de combustible (lubricantes y ceras de parafina); emisiones asociadas al uso y consumo de productos como sustitutos para las sustancias que agotan la capa de ozono (uso de HFC en Refrigeración y aire acondicionado, agentes espumantes, protección contra incendios, aerosoles y solventes) y la utilización de otros productos (SF₆ en equipos eléctricos y N₂O en aplicaciones médicas).

4.1.2. Tendencia de las emisiones de GEI

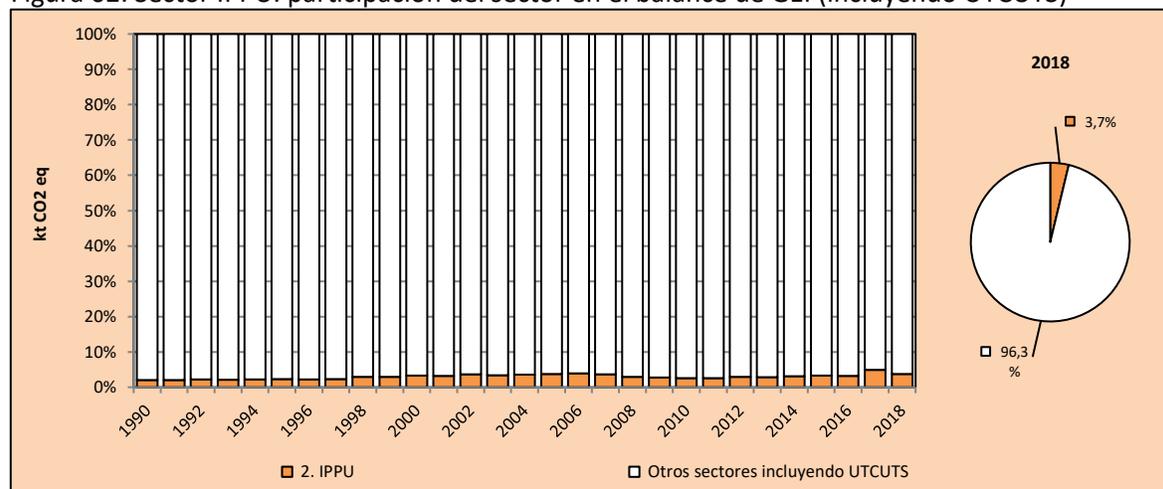
El sector IPPU representó el 5,8 % de las emisiones de GEI totales (Figura 61) y el 3,7 % del balance de GEI del país (Figura 62) para el 2018, manteniendo una representación similar a lo largo de toda la serie.

Figura 61. Sector IPPU: participación del sector en las emisiones de GEI totales (excluyendo UTCUTS)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 62. Sector IPPU: participación del sector en el balance de GEI (incluyendo UTCUTS)



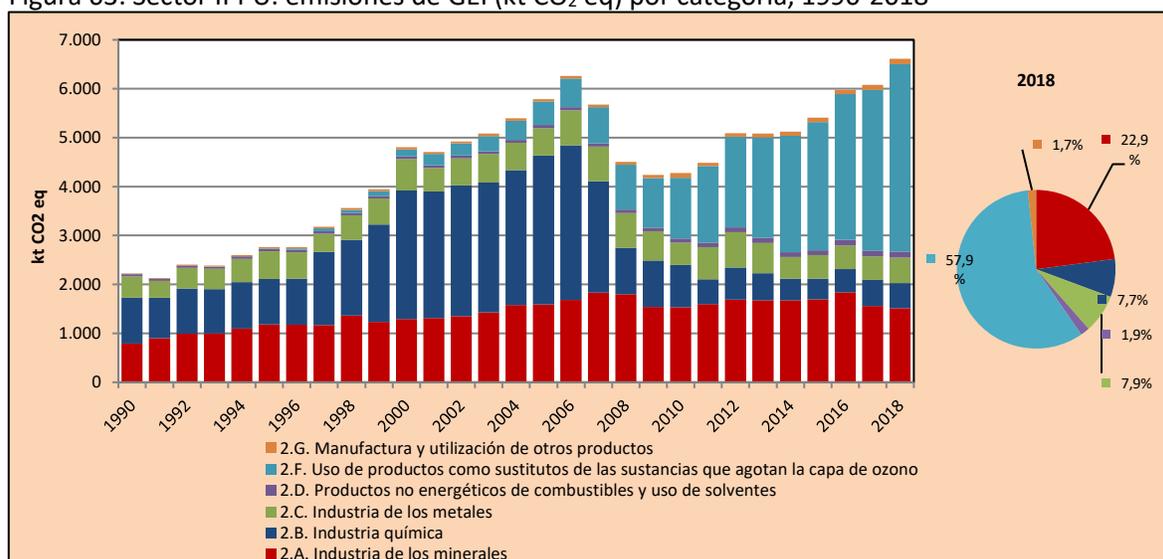
Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

En el 2018, las emisiones de GEI del sector contabilizaron 6.611 kt CO₂ eq, incrementándose en un 197 % desde 1990 y en un 11 % desde 2016 (Tabla 111 y Figura 63). Este valor es un máximo histórico superando por primera vez las emisiones de 2006. La tendencia histórica es el resultado de las variaciones de las distintas categorías, que se mueven de manera independiente entre sí. Esto genera que la importancia de cada categoría con respecto al total del sector cambie a lo largo de la serie. Las variaciones ocurren, además de las condiciones nacionales, porque factores externos al país, como la disponibilidad de tecnología y los mercados internacionales tienen incidencia en los niveles de actividad y en los factores de emisión de las distintas industrias.

Tabla 111. Sector IPPU: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría

| Categoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2.A. Industria de los minerales | 789,4 | 1.294,0 | 1.532,3 | 1.679,1 | 1.841,3 | 1.560,4 | 1.515,2 |
| 2.B. Industria química | 941,1 | 2.624,2 | 865,3 | 552,6 | 472,4 | 530,9 | 512,0 |
| 2.C. Industria de los metales | 433,3 | 643,4 | 458,4 | 618,3 | 484,6 | 480,1 | 519,2 |
| 2.D. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes | 42,6 | 53,2 | 78,9 | 98,9 | 112,4 | 115,0 | 122,7 |
| 2.F. Uso de productos como sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono | 0,0 | 144,4 | 1.245,8 | 2.057,9 | 2.979,2 | 3.286,8 | 3.830,6 |
| 2.G. Manufactura y utilización de otros productos | 17,8 | 44,4 | 98,9 | 77,7 | 87,2 | 106,7 | 111,7 |
| Total | 2.224,2 | 4.803,6 | 4.279,6 | 5.084,5 | 5.977,1 | 6.079,8 | 6.611,3 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 63. Sector IPPU: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, 1990-2018

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Los principales causantes del incremento entre 1990 y 2006 son el crecimiento sostenido de la producción de metanol, la industria del cemento y la industria del ácido nítrico, además las emisiones de hierro y acero se mantienen y aparecen tardíamente las emisiones por uso de sustancias SAO (Tabla 112 y Figura 64). Desde 2006 se observa una abrupta caída de las emisiones, debido a dos eventos: la disminución de la oferta de gas natural, materia prima para la producción de metanol; y el uso de sistemas de abatimiento para las emisiones de N₂O de la industria del ácido nítrico. En 2008 se produce otra fuerte disminución de la actividad industrial del país debido a la crisis económica internacional afectando a la producción de cemento, cal y hierro y acero. Esta crisis se mantiene hasta 2010, momento en que se produce una reactivación económica que frena en 2013. Adicionalmente en este período se hacen más relevantes las emisiones de HFC, por su uso principalmente como refrigerante, las que aumentan exponencialmente hasta ser la principal fuente del sector en 2018. Sumado a esto, desde el 2014, por un lado, disminuye la producción de clínker por aumento en las importaciones y también caen las emisiones de producción de ácido nítrico por la instalación de un sistema de abatimiento adicional. Esto se contrarresta con un aumento en la producción de metanol desde 2016 por nueva disponibilidad de gas natural, además del crecimiento en la producción de cal que se utiliza principalmente en la minería (Tabla 112 y Figura 64).

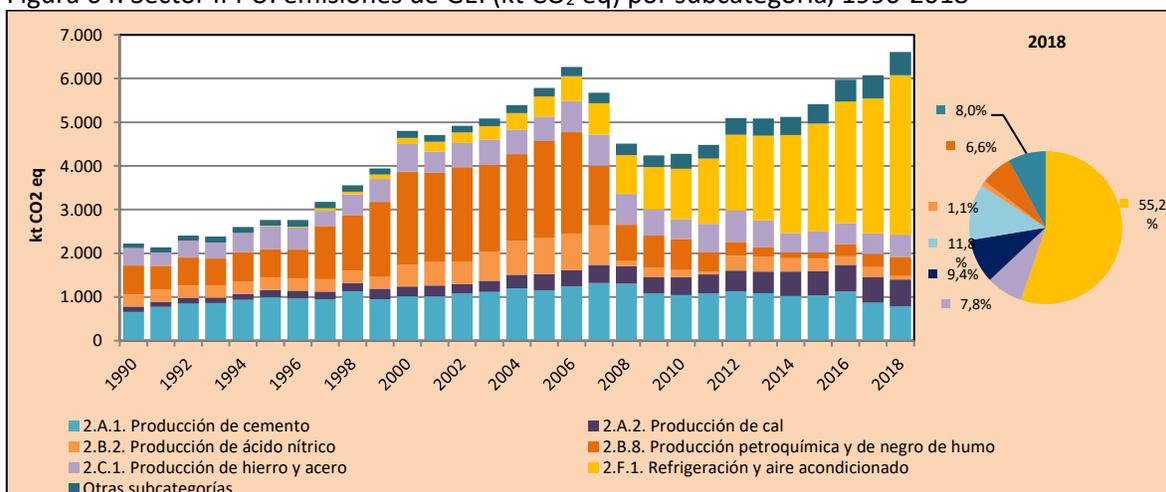
Tabla 112. Sector IPPU: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|-------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| 2.A.1. Producción de cemento | 659,2 | 1.010,4 | 1.046,5 | 1.085,7 | 1.120,3 | 865,9 | 782,2 |
| 2.A.2. Producción de cal | 118,2 | 231,0 | 412,4 | 498,7 | 618,0 | 585,7 | 619,7 |
| 2.A.3. Producción de vidrio | 12,0 | 52,6 | 73,4 | 94,6 | 103,0 | 108,8 | 113,3 |
| 2.B.2. Producción de ácido nítrico | 283,6 | 492,2 | 163,0 | 331,1 | 190,8 | 235,4 | 75,5 |
| 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo | 657,5 | 2.132,0 | 702,3 | 221,5 | 281,6 | 295,5 | 436,5 |
| 2.C.1. Producción de hierro y acero | 401,6 | 634,8 | 457,1 | 616,5 | 481,0 | 475,9 | 513,7 |
| 2.C.2. Producción de ferroaleaciones | 31,7 | 8,5 | NO | NO | NO | NO | NO |
| 2.C.5. Producción de plomo | NO | NO | 1,4 | 1,8 | 3,6 | 4,3 | 5,4 |
| 2.D.1. Uso de lubricantes | 35,5 | 44,0 | 69,6 | 87,2 | 102,4 | 107,2 | 113,6 |
| 2.D.2. Uso de la cera de parafina | 7,1 | 9,1 | 9,3 | 11,7 | 10,0 | 7,8 | 9,2 |

| | | | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado | 0,0 | 140,0 | 1.154,3 | 1.936,6 | 2.777,7 | 3.089,4 | 3.652,1 |
| 2.F.2. Agentes espumantes | NO | NO | 57,5 | 40,1 | 92,2 | 81,2 | 66,8 |
| 2.F.3. Protección contra incendios | NO | 1,7 | 18,0 | 47,0 | 70,5 | 69,7 | 67,1 |
| 2.F.4. Aerosoles | NO | NO | 13,4 | 18,0 | 22,0 | 28,6 | 21,3 |
| 2.F.5. Solventes | NO | 2,7 | 2,5 | 16,1 | 16,8 | 17,8 | 23,3 |
| 2.G.1. Equipos eléctricos | 17,1 | 43,8 | 98,3 | 77,3 | 86,8 | 106,4 | 111,4 |
| 2.G.3. N2O de usos de productos | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| Total | 2.224,2 | 4.803,6 | 4.279,6 | 5.084,5 | 5.977,1 | 6.079,8 | 6.611,3 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 64. Sector IPPU: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

En 2018, el principal GEI emitido por el sector fueron los HFC, representando un 58 % de las emisiones totales de GEI del sector, seguido del CO₂ con un 39 %. El SF₆ alcanzó un 1,7 % de las emisiones, el N₂O un 1,1 % y el CH₄ un 0,5 %. Las emisiones de los PFC se estimaron, pero son menores al 0,01 % (Tabla 113 y Figura 65).

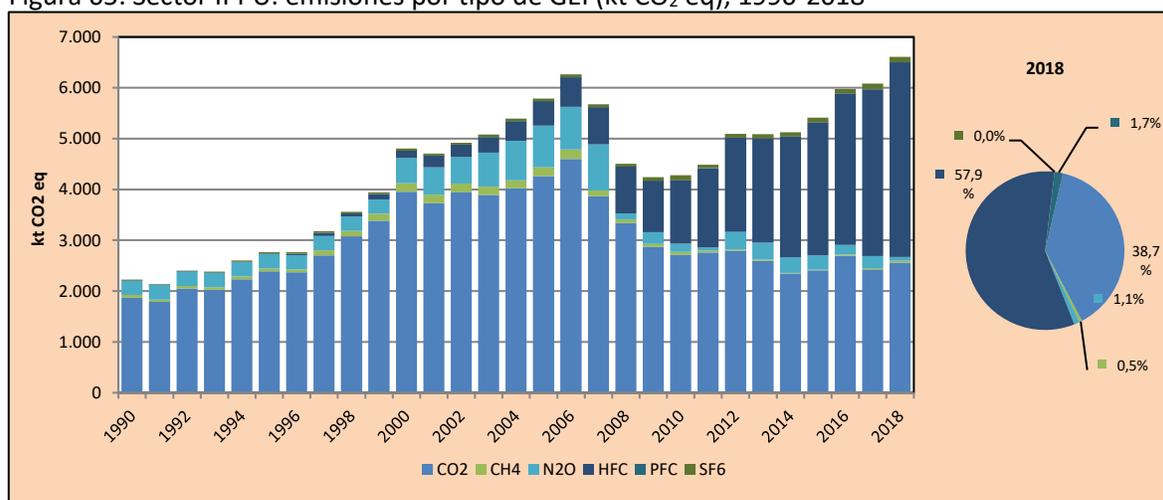
Tabla 113. Sector IPPU: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq)

| GEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| CO ₂ | 1.868,5 | 3.951,5 | 2.714,8 | 2.596,8 | 2.697,6 | 2.427,6 | 2.559,0 |
| CH ₄ | 54,3 | 171,0 | 57,1 | 21,0 | 22,3 | 23,4 | 34,5 |
| N ₂ O | 284,2 | 492,9 | 163,7 | 331,5 | 191,1 | 235,7 | 75,8 |
| HFC | 0,0 | 144,4 | 1.245,6 | 2.057,7 | 2.978,2 | 3.285,9 | 3.829,8 |
| PFC | NO | NO | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| SF ₆ | 17,1 | 43,8 | 98,3 | 77,3 | 86,8 | 106,4 | 111,4 |
| Total | 2.224,2 | 4.803,6 | 4.279,6 | 5.084,5 | 5.977,1 | 6.079,8 | 6.611,3 |

NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 65. Sector IPPU: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.1.3. Aspectos metodológicos generales del sector

Para la estimación de las emisiones de GEI del sector IPPU se aplicaron los métodos Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3 propuestos por las *Directrices del IPCC de 2006*. El método Nivel 2 se aplicó para las emisiones de CO₂ de la categoría *Industria de los minerales*, para las subcategorías *Producción de hierro y acero* y *Producción de Plomo* y por primera vez para *Refrigeración y aire acondicionado*. El método de Nivel 3 se utilizó para la subcategoría *Producción de ácido nítrico*. Es importante destacar que se agregaron las estimaciones de las emisiones de PFC para la categoría *Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono* y de N₂O en *Aplicaciones médicas*, las que antes se reportaban como NE. Por último, agregar que el CH₄ de la *Producción de hierro y acero* se reporta en el sector Energía. En la Tabla 114 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 114. Sector IPPU: métodos aplicados por categoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | | HFC | | PFC | | SF ₆ | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 2. Procesos industriales y uso de productos | T1, T2, NE, NO | D, NE, NO | T1, IE, NO | D, IE, NO | T3, NA, NE, NO | D, CS, NA, NE, NO | T2a, T1, NO | D, NO | T1, NA, NO | D, NA, NO | T1, NA, NO | D, NA, NO |
| 2.A. Industria de los minerales | T2, NE, NO | D, NE, NO | | | | | | | | | | |
| 2.B. Industria química | T1, NO | D, NO | T1, NO | D, NO | T3, NO | D, NO | NO | NO | | | | |
| 2.C. Industria de los metales | T1, T2, NO | D, CS, NO | IE, NO | IE, NO | | | | | NO | NO | NO | NO |
| 2.D. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes | T1 | D | | | | | | | | | | |
| 2.E. Industria electrónica | | | | | | | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 2.F. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono | | | | | | | T2a, T1 | D | T1, NO | D, NO | | |
| 2.G. Manufactura y utilización de otros productos | | | | | T1, NA, NE | D, NA, NE | | | NA, NO | NA, NO | T1, NA, NO | D, NA, NO |
| 2.H. Otros | | | | | | | | | | | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Todos los cálculos del sector se realizaron a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de IPPU con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

4.1.4. Datos de actividad del sector

En el sector IPPU los datos de actividad son en su mayoría producción de las diferentes industrias cuyo proceso conlleva a la emisión de GEI, o bien son cantidades de productos cuyo uso genera la emisión de GEI. Por lo tanto, se cuenta con una gran cantidad de fuentes de datos de actividad estadísticos y paramétricos que incluyen tanto al sector privado (empresas, asociaciones gremiales, etc.) como al sector público (importaciones y exportaciones de aduana, anuarios estadísticos, etc.). Mayoritariamente, y de forma muy general, para la estimación de las emisiones del sector se usan las toneladas de sustancia producida o usada. El detalle de los datos de actividad utilizados se podrá encontrar en las secciones correspondientes a cada subcategoría.

4.2. Industria de los minerales (2.A.)

4.2.1. Descripción de la categoría

La categoría *Industria de los minerales* incluye las emisiones de CO₂ relacionadas con los procesos que resultan del uso de materias primas carbonatadas en la producción y el uso de una variedad de productos minerales industriales. Las subcategorías asociadas son las siguientes:

- *2.A.1. Producción de cemento.*
- *2.A.2. Producción de cal.*
- *2.A.3. Producción de vidrio.*
- *2.A.4. Otros usos de carbonatos en los procesos.*

En el contexto nacional, esta categoría incluye las emisiones de los procesos productivos siguientes:

- Producción de cemento,
- Producción de cal, y
- Producción de vidrio.

4.2.2. Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Industria de los minerales* es la segunda categoría emisora de GEI del sector IPPU, representando el 23 % de las emisiones de GEI del sector. En 2018, sus emisiones de GEI contabilizaron 1.515 kt CO₂ eq, incrementándose en un 92 % desde 1990 y disminuyendo en un 18 % desde 2016. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la producción de cemento, que emite CO₂ por la generación de clínker, asociada a la calcinación de carbonatos. La producción de clínker depende, por un lado, de la demanda de cemento y por otro de la importación de este. En los últimos años ha aumentado la importación de clínker, llegando a fines del 2016 a detenerse un horno de producción en Chile. También han influido en las variaciones el aumento de la industria de la cal, que ha crecido constantemente a lo largo de la serie ya que se usa principalmente como insumo en la minería. Adicionalmente, las tres industrias representadas se ven afectadas por el estado económico nacional, observándose por ejemplo disminuciones en

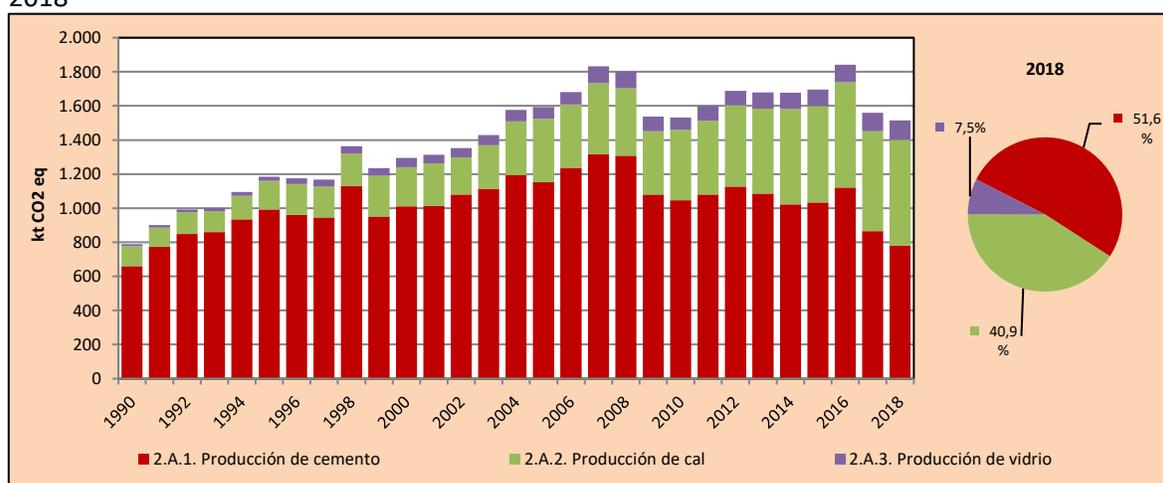
1990, 1999 y en 2009 que coinciden con PIB más bajos (Banco central de Chile, 2020) (Tabla 115 y Figura 66).

Tabla 115. 2.A. Industria de los minerales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2.A.1. Producción de cemento | 659,2 | 1.010,4 | 1.046,5 | 1.085,7 | 1.120,3 | 865,9 | 782,2 |
| 2.A.2. Producción de cal | 118,2 | 231,0 | 412,4 | 498,7 | 618,0 | 585,7 | 619,7 |
| 2.A.3. Producción de vidrio | 12,0 | 52,6 | 73,4 | 94,6 | 103,0 | 108,8 | 113,3 |
| Total | 789,4 | 1.294,0 | 1.532,3 | 1.679,1 | 1.841,3 | 1.560,4 | 1.515,2 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 66. 2.A. Industria de los minerales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.2.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría se aplicó el método Nivel 2 para todas las subcategorías, usando datos de actividades país específicos desagregados y factores de emisión por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. Se implementó una mejora en los datos de actividad de producción de cemento lo que constituye una mejora con respecto al inventario anterior. La subcategoría *Otros usos de los carbonatos* no fue estimada por falta de información, sin embargo, en varias industrias como pulpa y papel, litio y molibdeno se descartó la existencia de emisiones. Se mantiene como NE ya que aún no se han evaluado todas las potenciales fuentes. En la Tabla 116 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 116. 2.A. Industria de los minerales: métodos aplicados por subcategoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | | HFC | | PFC | | SF ₆ | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 2.A. Industria de los minerales | T2, NE, NO | D, NE, NO | | | | | | | | | | |
| 2.A.1. Producción de cemento | T2 | D | | | | | | | | | | |
| 2.A.2. Producción de cal | T2 | D | | | | | | | | | | |
| 2.A.3. Producción de vidrio | T2 | D | | | | | | | | | | |
| 2.A.4. Otros usos de carbonatos en los procesos | NE, NO | NE, NO | | | | | | | | | | |
| 2.A.5. Otros (sírvase especificar) | NO | NO | | | | | | | | | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre
Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

El cálculo de las emisiones para las subcategorías se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de IPPU con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

4.2.4. Producción de cemento (2.A.1.)

4.2.4.1. Descripción de la subcategoría

En la fabricación del cemento, el CO₂ se genera durante la producción de clínker, un producto intermedio constituido de nódulos, que es sometido a una molturación fina con una pequeña proporción de sulfato de calcio [yeso (CaSO₄·2H₂O) o anhidruro (CaSO₄)], para formar el cemento hidráulico (generalmente, el cemento portland). Durante la producción del clínker, se calienta o calina la piedra caliza, compuesta esencialmente de carbonato de calcio (CaCO₃), para producir cal (CaO) y CO₂ como productos derivados.

El cemento puede fabricarse completamente (por molturación) a partir de clínker importado, en cuyo caso la planta de producción de cemento puede ser considerada libre de toda emisión de CO₂ relacionada con el proceso de fabricación.

Históricamente la producción de cemento en Chile la han liderado tres empresas, que usan en parte clínker importado, pero además producen su propio clínker. En los últimos años se ha visto un aumento del clínker importado y el aumento de participación de otras empresas.

4.2.4.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 782 kt CO₂ eq (representando el 53 % de las emisiones de GEI de la categoría), incrementándose en un 19 % desde 1990, pero disminuyendo en un 30 % desde 2016 (Tabla 115 y Figura 66). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la demanda de cemento desde la construcción y la importación de clínker, lo que condiciona la producción nacional de clínker. Es importante mencionar que, si bien en los últimos años la importación de clínker ha mostrado un aumento constante, para la estimación de las emisiones de GEI solo se considera la producción de clínker nacional.

4.2.4.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Producción de cemento* se aplicó el método Nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*, Ecuación 2.2; Capítulo 2; Volumen 3; basado en los datos de actividad de la producción nacional de clínker.

4.2.4.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de la producción de clínker fueron entregados directamente por las tres principales empresas productoras de cemento del país. Sin embargo, esta información presenta brechas para la serie 1990-1994 y 2013-2018. Para el primer período se utilizó el despacho de cemento nacional, las importaciones de clínker y un factor clínker de acuerdo con la tendencia 1995-2012. Por otro lado, para los años 2013-2018, se cuenta con la producción de clínker de dos de las tres principales empresas. La producción de la tercera empresa se estimó utilizando las ventas de

cemento, las importaciones de clínker por empresa y el factor clínker para el 2014 que se puede obtener de la hoja de ruta de la industria cementera⁵³.

El consumo de clínker es equivalente al clínker producido más el clínker importado menos el clínker exportado, como se muestra en la Ecuación 8. La producción de cemento para toda la serie viene del documento *Despachos de Cemento* de la Cámara Chilena de la Construcción⁵⁴, excepto para 1990 en que se extrapola. Es importante destacar que esta producción de cemento corresponde sólo a las tres principales empresas que conforman el mercado⁵⁵ por lo que al sumar el clínker importado y exportado se consideran solo a las tres empresas mencionadas. La Tabla 117 muestra los valores de consumo de clínker, producción de cemento y la producción de clínker que es finalmente el dato de actividad utilizado.

Ecuación 8. 2.A.1. Producción de cemento: consumo de clínker y producción de cemento

$$\text{Consumo} = \text{Producción} + \text{Importación} - \text{Exportación}$$

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Tabla 117. 2.A.1. Producción de cemento: producción, importación, exportación y consumo de clínker (t), producción de cemento (t) y relación clínker/cemento, serie 1990-2018

| Año | Producción de clínker (t) | Importaciones (t) | Exportaciones (t) | Consumo clínker (t) | Producción de cemento (t) | Relación Cl/Cm |
|------|---------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------------|----------------|
| 1990 | 1.289.874,5 | 21.000,0 | 0,0 | 1.310.874,5 | 2.626.476,7 | 0,50 |
| 1991 | 1.512.776,9 | 0,0 | 0,0 | 1.512.776,9 | 2.977.907,2 | 0,51 |
| 1992 | 1.661.322,7 | 59.612,0 | 0,0 | 1.720.934,7 | 3.329.337,8 | 0,52 |
| 1993 | 1.683.068,9 | 219.594,9 | 0,0 | 1.902.663,8 | 3.618.607,4 | 0,53 |
| 1994 | 1.830.269,9 | 92.067,8 | 0,0 | 1.922.337,8 | 3.595.170,7 | 0,53 |
| 1995 | 1.940.830,0 | 103.185,3 | 0,0 | 2.044.015,2 | 3.805.326,0 | 0,54 |
| 1996 | 1.880.936,0 | 533.246,4 | 0,0 | 2.414.182,4 | 4.070.386,9 | 0,59 |
| 1997 | 1.851.090,0 | 681.113,6 | 0,0 | 2.532.203,6 | 4.156.951,4 | 0,61 |
| 1998 | 2.212.737,0 | 369.768,6 | 0,0 | 2.582.505,6 | 4.232.642,0 | 0,61 |
| 1999 | 1.860.632,0 | 70.399,6 | 0,0 | 1.931.031,6 | 3.622.945,5 | 0,53 |
| 2000 | 1.977.267,0 | 291.925,2 | 0,0 | 2.269.192,2 | 3.877.587,4 | 0,59 |
| 2001 | 1.982.709,0 | 422.716,1 | 0,1 | 2.405.425,1 | 3.979.282,3 | 0,60 |
| 2002 | 2.111.742,0 | 295.229,2 | 0,0 | 2.406.971,1 | 3.944.157,1 | 0,61 |
| 2003 | 2.178.615,0 | 178.050,4 | 2,6 | 2.356.662,8 | 4.061.654,7 | 0,58 |
| 2004 | 2.335.509,0 | 244.524,6 | 1,1 | 2.580.032,5 | 4.187.937,4 | 0,62 |
| 2005 | 2.254.223,0 | 394.304,8 | 0,0 | 2.648.527,8 | 4.325.043,5 | 0,61 |
| 2006 | 2.419.367,0 | 362.626,0 | 8.124,2 | 2.773.868,7 | 4.407.081,7 | 0,63 |
| 2007 | 2.576.089,8 | 315.620,0 | 28.168,4 | 2.863.541,4 | 4.629.191,9 | 0,62 |
| 2008 | 2.558.472,3 | 369.112,0 | 3.002,0 | 2.924.582,3 | 4.745.136,6 | 0,62 |
| 2009 | 2.114.637,6 | 262.207,1 | 0,0 | 2.376.844,7 | 4.279.948,6 | 0,56 |
| 2010 | 2.047.785,2 | 532.280,7 | 5.760,0 | 2.574.305,9 | 4.237.097,7 | 0,61 |
| 2011 | 2.113.566,3 | 936.806,4 | 11.840,0 | 3.038.532,7 | 4.829.104,7 | 0,63 |
| 2012 | 2.206.324,2 | 987.886,0 | 20.527,4 | 3.173.682,8 | 4.716.897,0 | 0,67 |
| 2013 | 2.124.637,1 | 928.637,2 | 2.920,0 | 3.050.354,3 | 4.614.981,5 | 0,66 |
| 2014 | 1.999.736,0 | 789.245,7 | 7,8 | 2.788.973,8 | 4.190.305,0 | 0,67 |

⁵³ <http://hojaderutaficem.ich.cl/>

⁵⁴ <http://www.cchc.cl>

⁵⁵ <http://biblioteca.cchc.cl/datafiles/34766-2.pdf>, recuadro 1

| Año | Producción de clinker (t) | Importaciones (t) | Exportaciones (t) | Consumo clinker (t) | Producción de cemento (t) | Relación Cl/Cm |
|------|---------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------------|----------------|
| 2015 | 2.021.774,1 | 898.943,7 | 0,0 | 2.920.717,8 | 4.382.339,0 | 0,67 |
| 2016 | 2.192.282,1 | 920.186,2 | 3,1 | 3.112.465,3 | 4.313.188,0 | 0,72 |
| 2017 | 1.694.464,0 | 1.087.000,2 | 0,0 | 2.781.464,2 | 3.995.376,0 | 0,70 |
| 2018 | 1.530.622,5 | 1.467.209,0 | 0,0 | 2.997.831,5 | 3.992.818,0 | 0,75 |

Nota: valores en rojo es información estimada

Fuente: La producción de cemento proviene del sitio web de la CCHC (<http://www.cchc.cl>). Los datos de importación y exportación de clinker fueron suministrados por el Servicio Nacional de Aduanas. Los datos de producción de clinker fueron suministrados por las empresas y en rojo estimados.

El valor promedio, específico de Chile, de la relación consumo de clinker/producción de cemento fue de 61 %. Este valor está por debajo de la relación por defecto indicado en las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.2.1.3.; Capítulo 2; Volumen 3), correspondiente a un 75 %. Esta diferencia se da ya que en Chile se ha utilizado históricamente Puzolana para reemplazar parte del clinker, sin embargo, no hay una respuesta clara de las industrias de porqué el factor clinker tiende a aumentar en la serie histórica. Cabe destacar que, en la hoja de ruta de la industria del cemento, se dice que el mínimo factor clinker que ha registrado Chile es de 47 % y el máximo de 76 %, reportando un 67 % para el 2014.

4.2.4.3.2. Factores de emisión

El factor de emisión de CO₂ de la producción de clinker depende de su contenido de CaO y la entrada de fuentes no carbonatadas de CaO. Ante la falta de información país específica, se asume que el clinker contiene un 65 % de CaO, que este proviene en un 100 % del CaCO₃ y que se alcanza un 100 % de calcinación en el horno de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.2.1.2; Capítulo 2; Volumen 3). Por lo tanto, el factor de emisión (EF_{cl}) sin incluir el factor de corrección del CKD es de 0,51 t CO₂/t clinker.

El factor corrector del CKD (CF_{CKD}) tiene por objeto sumar a las emisiones del clinker las emisiones de las materias primas carbonatadas calcinadas. Este valor se consultó a las industrias, afirmando estas que corresponde al 0,2, es decir, un factor de 1,002.

4.2.4.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es + 9,5 % - 17,5 %. Para el factor clinker se consideró el rango posible declarado por la industria (46% - 76%). Para los otros datos y parámetros se consideraron las recomendaciones de las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.2.2; Capítulo 2; Volumen 3). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 118.

Tabla 118. 2.A.1. Producción de cemento: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|-----------------------|-----------------|---|------|---------------------------------------|------|-------------------------|------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.A.1. | Producción de cemento | CO ₂ | 15,3% | 4,1% | 8,6% | 8,6% | 17,5% | 9,5% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Como se utilizó un factor corrector de CKD país específico, esto disminuyó la incertidumbre del factor de emisión. Mientras que para el factor clínker se consideró un rango de datos posibles, lo que también produce una disminución en la incertidumbre de los datos de actividad. De todas maneras, este valor se mantiene como la mayor fuente de incertidumbre.

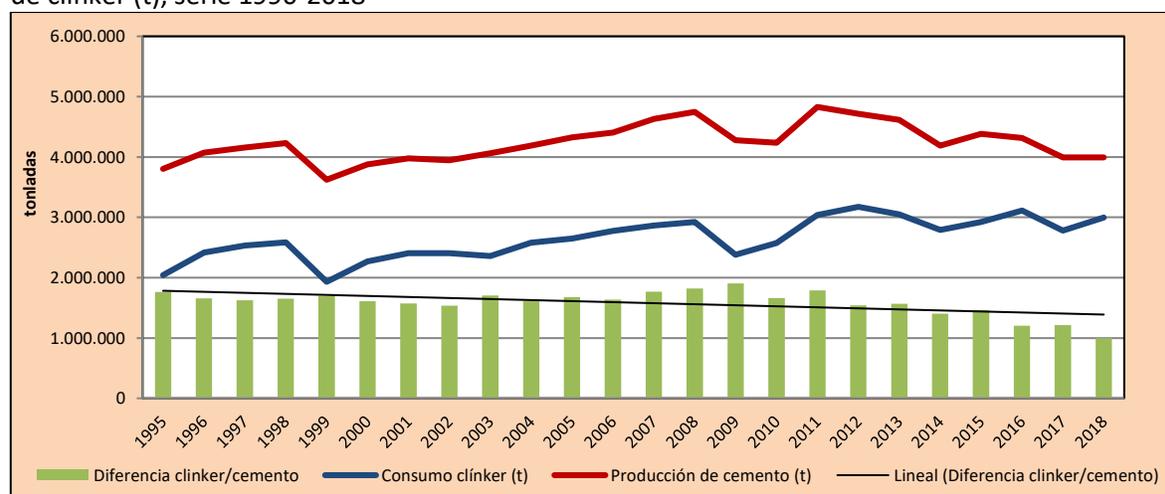
4.2.4.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018, se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. La principal fuente de los datos de actividad son las tres grandes empresas productoras nacionales de cemento, y el Servicio Nacional de Aduanas. Estos datos de actividad fueron tratados según lo descrito en la sección 3.2.4.3.1. *supra*.

4.2.4.5.1. Verificación

Para verificar los datos de producción de clínker entregados por las empresas, estos se sumaron a los datos de importación y se compararon con la producción de cemento para la serie 1995-2018 (Figura 67). Se observa que ambas producciones presentan la misma tendencia, teniendo las mismas alzas y disminuciones. Adicionalmente la diferencia entre ambos va disminuyendo en el tiempo lo que tendría relación con el aumento del factor clínker cemento, sin embargo, no se tiene claridad de porqué esto ocurre. De todas maneras, se mantiene dentro del rango esperado, entre 50 % y 75 %.

Figura 67. 2.A.1. Producción de cemento: comparación entre producción de cemento (t) y consumo de clínker (t), serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.2.4.6. Recálculos

4.2.4.6.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para los últimos años de la serie, las importaciones de clínker, por empresas diferentes a las tres más importantes históricamente, aumentaron significativamente. Al calcular el factor clínker se obtenían valores muy elevados, lo que llevó a una revisión de los datos. Se encontró que los datos de cemento despachado consideran solo a las tres empresas más grandes, con lo que cambió el

factor clínker estimado para los años conocidos (1995-2012). Por consiguiente, cambió la estimación para los años 1990-1994 y 2013-2016.

4.2.4.6.2. Implicaciones para los niveles de emisión

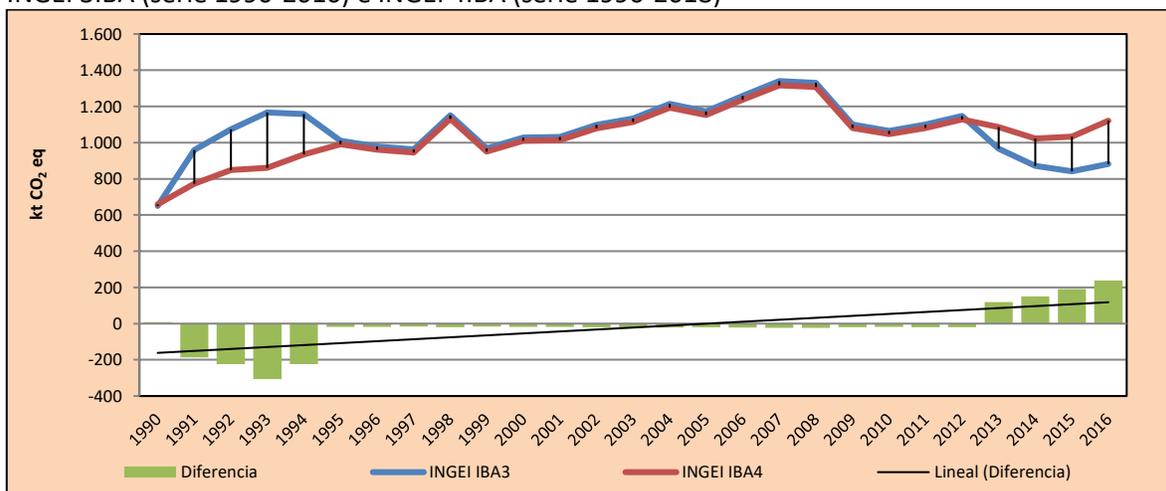
En la Tabla 119 y Figura 68 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI IBA3) siendo la mayor diferencia de 306,2 kt CO₂ eq en 1993. La diferencia se debe al cambio en la consideración de datos de importación utilizada para proyectar los valores de producción de clínker para completar la serie, extrapolando los años 1990 a 1994 y 2013 a 2018. Esto se ve reflejado en la Figura 68 observándose una diferencia mayor solo en los años de la serie en que se usaron datos proyectados. Otra diferencia que se aprecia constante a lo largo de la serie es la disminución en el factor corrector del CKD (CF_{CKD}), que cambió de 1,02 a 1,002.

Tabla 119. 2.A.1. Producción de cemento: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|-------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| INGEI IBA3 | 650,1 | 1.028,6 | 1.065,3 | 966,4 | 882,0 | - | - |
| INGEI IBA4 | 659,2 | 1.010,4 | 1.046,5 | 1.085,7 | 1.120,3 | 865,9 | 782,2 |
| Diferencia | 9,1 | - 18,2 | - 18,8 | 119,3 | 238,3 | | |
| Diferencia % | 1,4% | -1,8% | -1,8% | 11,0% | 21,3% | | |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 68. 2.A.1. Producción de cemento: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.2.4.7. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Corroborar con las empresas el aumento en el factor clínker y supuesto de proporción de CaO del 65 %.
- Cerrar acuerdo de colaboración con POLPAICO.

- Utilizar datos solicitados a través del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), administrado por el MMA.

4.2.5. Producción de cal (2.A.2.)

4.2.5.1. Descripción de la subcategoría

La *Producción de cal* se realiza en una serie de etapas, incluida la extracción de las materias primas, la trituración y el calibrado, la calcinación de las materias primas para producir cal y (si se requiere) la hidratación de la cal para obtener hidróxido de calcio. El óxido de calcio (CaO o cal viva) se forma durante el proceso de calcinación, al calentar la piedra caliza para descomponer los carbonatos. Dicho proceso se hace generalmente en hornos de caña u hornos rotatorios a altas temperaturas, liberándose CO₂.

En Chile hay tres empresas que como negocio principal producen cal, y su uso es principalmente como regulador de pH en los procesos de flotación del cobre, pero también para neutralización de efluentes y procesos de fundición. La demanda de cal se suple en parte por producción nacional y en parte por importación. (Cochilco, Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre⁵⁶, varios años). La industria productora de cal en Chile ha crecido considerablemente a lo largo de la serie siguiendo la demanda para el procesamiento de mineral en la minería.

4.2.5.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 620 kt CO₂ eq, (representando el 41 % de las emisiones de la categoría) incrementándose en un 424 % desde 1990 y en un 0,3 % desde 2016 (Tabla 115 y Figura 66). La principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la demanda de cal principalmente por la minería, y la importación de esta para suplir parte de la demanda.

4.2.5.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Producción de cal* se aplicó el método Nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006* Ecuación 2.6; Capítulo 2; Volumen 3, basado en los datos de la producción nacional por tipo de cal.

4.2.5.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de la producción de cal fueron entregados por las grandes empresas productoras. Es importante mencionar que el país produce casi exclusivamente cal viva (con fuerte proporción de calcio), parte de la cual es luego hidratada. Cabe destacar que desde el 2015 existe una nueva planta productora de cal de alta pureza en Chile, sin embargo, al 2018 no había comenzado aún sus operaciones productivas. Su producción entre 2015 y 2018 es una pequeña fracción de su capacidad instalada que se asocia a pruebas para la puesta en marcha. En la Tabla 120 se presenta el total de la producción nacional para toda la serie.

56

https://www.cochilco.cl/Paginas/Estudios/Mercados%20de%20metales%20e%20insumos%20estrat%C3%A9gicos/insumos_criticos.aspx

Tabla 120. 2.A.2. Producción de cal: producción nacional de cal viva (t), serie 1990-2018

| Año | Producción de cal viva (t) |
|------|----------------------------|
| 1990 | 160.201 |
| 1991 | 154.010 |
| 1992 | 170.820 |
| 1993 | 165.345 |
| 1994 | 186.968 |
| 1995 | 227.582 |
| 1996 | 244.862 |
| 1997 | 244.136 |
| 1998 | 254.582 |
| 1999 | 324.330 |
| 2000 | 313.039 |
| 2001 | 338.450 |
| 2002 | 296.530 |
| 2003 | 347.497 |
| 2004 | 428.916 |
| 2005 | 505.657 |
| 2006 | 503.189 |
| 2007 | 564.205 |
| 2008 | 537.355 |
| 2009 | 503.054 |
| 2010 | 558.918 |
| 2011 | 586.770 |
| 2012 | 645.973 |
| 2013 | 675.940 |
| 2014 | 759.871 |
| 2015 | 767.270 |
| 2016 | 837.552 |
| 2017 | 792.038 |
| 2018 | 838.027 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.2.5.3.2. Factores de emisión

El factor de emisión de CO₂ depende de la relación estequiométrica entre el CO₂ y el CaO (SR_{CaO}), que es 0,785 y del contenido de CaO de la cal. El valor por defecto para el contenido de CaO de la cal, y que es utilizado en este inventario, es de 95 % (Cuadro 2.4; Capítulo 2; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*). De acuerdo con lo anterior, el factor de emisión queda calculado por la ecuación siguiente:

Ecuación 9. 2.A.2. Producción de cal: factores de emisión para la producción de cal (Nivel 2)

$$EF_{cal,a} = SR_{CaO} \cdot \text{Contenido CaO}$$

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en Ecuación 2.9; Capítulo 2; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- EF_{cal,a}: factor de emisión para la cal viva, toneladas de CO₂/toneladas de cal
- SR_{CaO}: cociente estequiométrico del CO₂ y CaO, toneladas de CO₂/toneladas de CaO
- Contenido CaO: proporción de CaO en la cal, toneladas de CaO/toneladas de cal

La Tabla 121 detalla el factor de emisión para la cal viva. Además, incluye los factores correctores para el LKD generado como producto derivado; y para la cal viva “apagada” que se transforma en cal hidratada. Ante la falta de información adicional, ambos factores correctores son por defecto.

Tabla 121. 2.A.2. Producción de cal: valores usados para la estimación del factor de emisión de CO₂ de la producción de cal viva (con fuerte proporción de calcio)

| Tipo de cal | Factor corrector para LKD por defecto | Factor corrector para la cal hidratada por defecto | Contenido CaO | Factor de emisión (t CO ₂ / t cal) |
|--|---------------------------------------|--|---------------|---|
| Cal viva (con fuerte proporción de calcio) | 1,02 | 0,97 | 0,95 | 0,75 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en Cuadro 2.4; Capítulo 2; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

4.2.5.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de $\pm 31\%$. En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.3.2.; Capítulo 2; Volumen 3). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 122.

Tabla 122. 2.A.2. Producción de cal: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------|-----------------|---|------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.A.2. | Producción de cal | CO ₂ | 5,4% | 5,4% | 30,7% | 30,7% | 31,1% | 31,1% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Se concluye de la tabla anterior que, a pesar de mejorar el método de estimación, la mayor fuente de incertidumbre corresponde a la relacionada con los factores de emisión por defecto y, por lo tanto, a la ausencia de factores país específico.

4.2.5.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Adicionalmente los valores de la serie temporal fueron revisados y, de acuerdo con lo informado por las empresas, no contiene mayores problemas o vacíos.

4.2.5.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.2.5.6.1. Verificación

Se compararon las emisiones resultantes de la aplicación del método Nivel 1 y el método Nivel 2 para la categoría (Tabla 123), la diferencia porcentual entre ambos métodos no supera el 1,6 %, quedando el Nivel 1 por sobre el Nivel 2, debido a la utilización del factor de emisión país específico.

Tabla 123. 2.A.2. Producción de cal: comparación entre la estimación de emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq) aplicando el método Nivel 1 y el método Nivel 2, serie 1990-2018

| Año | Nivel 2 | Nivel 1 | Diferencia |
|------|---------|---------|------------|
| 1990 | 118,2 | 120,2 | 1,9 |
| 1991 | 113,6 | 115,5 | 1,9 |
| 1992 | 126,0 | 128,1 | 2,1 |
| 1993 | 122,0 | 124,0 | 2,0 |
| 1994 | 138,0 | 140,2 | 2,3 |
| 1995 | 167,9 | 170,7 | 2,8 |
| 1996 | 180,7 | 183,6 | 3,0 |
| 1997 | 180,1 | 183,1 | 3,0 |
| 1998 | 187,8 | 190,9 | 3,1 |
| 1999 | 239,3 | 243,2 | 3,9 |
| 2000 | 231,0 | 234,8 | 3,8 |
| 2001 | 249,7 | 253,8 | 4,1 |
| 2002 | 218,8 | 222,4 | 3,6 |
| 2003 | 256,4 | 260,6 | 4,2 |
| 2004 | 316,5 | 321,7 | 5,2 |
| 2005 | 373,1 | 379,2 | 6,1 |
| 2006 | 371,3 | 377,4 | 6,1 |
| 2007 | 416,3 | 423,2 | 6,9 |
| 2008 | 396,5 | 403,0 | 6,5 |
| 2009 | 371,2 | 377,3 | 6,1 |
| 2010 | 412,4 | 419,2 | 6,8 |
| 2011 | 432,9 | 440,1 | 7,1 |
| 2012 | 476,6 | 484,5 | 7,9 |
| 2013 | 498,7 | 507,0 | 8,2 |
| 2014 | 560,7 | 569,9 | 9,2 |
| 2015 | 566,1 | 574,1 | 8,0 |
| 2016 | 618,0 | 626,8 | 8,8 |
| 2017 | 585,7 | 594,0 | 8,3 |
| 2018 | 619,7 | 628,5 | 8,9 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.2.5.7. Recálculos

No se llevaron a cabo recálculos en esta actualización.

4.2.5.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Trabajar con RETC para levantar datos a través de sus procedimientos.
- Levantar datos país específico con la industria de contenido de CaO y factor corrector para LKD.

Sin embargo, queda como fuentes pendientes de revisar la industria del azúcar, y las cerámicas. Además del uso de carbonato para tartar emisiones ácidas en la minería, las que se deberían reportar en la categoría en donde se consume.

4.2.6. Producción de vidrio (2.A.3.)

4.2.6.1. Descripción de la subcategoría

Las principales materias primas del vidrio que emiten CO₂ durante el proceso de fundición son: la piedra caliza (CaCO₃), la dolomita Ca, Mg(CO₃)₂ y la ceniza de sosa (Na₂CO₃). Estos materiales, allí donde se extraen como carbonatos minerales para ser utilizados en la industria del vidrio, representan una producción primaria de CO₂ y deben incluirse en las estimaciones de emisiones.

El vidrio producido en el país se usa para fabricar diversos productos, entre estos, botellas, iluminación, recipientes, vajilla e instrumentos de laboratorio, siendo usado también como material de construcción. Considerando los diferentes usos de este producto, la industria ha crecido considerablemente en los últimos años, presentando una recuperación en los niveles de producción desde el 2011 en adelante, en comparación con la gran desaceleración ocurrida entre 2008 y 2010.

4.2.6.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI contabilizaron 113 kt CO₂ eq (representando el 7,7 % de las emisiones de GEI de la categoría), incrementándose en un 842 % desde 1990 y en un 10 % desde 2016 (Tabla 115 y Figura 66). La principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la demanda de vidrio tipo recipiente por parte de la industria, efecto ligado al crecimiento económico del país. Esta relación explica el estancamiento de la producción hacia el 2008 y la disminución durante el 2010 debido al terremoto. Por otro lado, se observa en 2007 un aumento en las emisiones asociado al inicio de operaciones de dos nuevas plantas (Planta Rengo de Verallia y Planta Llay Llay de Cristalerías Chile).

4.2.6.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Producción de vidrio* se utilizó el método Nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006; Ecuación 2.11; Capítulo 2; Volumen 3*, basado en la producción de vidrio y porcentaje de cullet o chatarra de vidrio reciclada por tipo de vidrio, y la aplicación de factor de emisión por defecto.

4.2.6.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

En el país se producen dos tipos de vidrio: recipiente y flotado. Los datos de actividad de cada tipo se obtuvieron directamente de los grandes fabricantes. Adicionalmente reportaron el porcentaje de cullet anual, el cual fue ponderado para obtener el promedio nacional por tipo de vidrio. La Tabla 124 presenta el total de la producción nacional y el porcentaje de cullet para toda la serie.

Tabla 124. 2.A.3. Producción de vidrio: producción nacional de vidrio (t) por tipo y porcentaje de cullet, serie 1990-2018

| Año | Recipiente | | Flotado | |
|------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| | Producción (t) | % de cullet | Producción (t) | % de cullet |
| 1990 | 55.272 | 39% | 29.474 | 20% |
| 1991 | 72.788 | 37% | 29.474 | 20% |
| 1992 | 90.304 | 36% | 29.474 | 20% |
| 1993 | 107.820 | 35% | 29.474 | 20% |

| | | | | |
|------|---------|-----|---------|-----|
| 1994 | 125.336 | 34% | 29.474 | 20% |
| 1995 | 146.757 | 35% | 29.474 | 20% |
| 1996 | 188.852 | 35% | 49.598 | 30% |
| 1997 | 211.939 | 37% | 89.468 | 25% |
| 1998 | 221.235 | 35% | 88.001 | 23% |
| 1999 | 216.340 | 35% | 90.402 | 20% |
| 2000 | 257.734 | 34% | 97.347 | 17% |
| 2001 | 260.971 | 33% | 87.319 | 22% |
| 2002 | 281.391 | 33% | 88.425 | 16% |
| 2003 | 318.294 | 38% | 95.308 | 14% |
| 2004 | 342.276 | 33% | 98.048 | 12% |
| 2005 | 354.179 | 34% | 102.202 | 13% |
| 2006 | 396.068 | 35% | 103.018 | 11% |
| 2007 | 535.998 | 29% | 110.095 | 11% |
| 2008 | 535.516 | 30% | 108.425 | 11% |
| 2009 | 490.290 | 36% | 100.726 | 11% |
| 2010 | 522.454 | 36% | 16.727 | 9% |
| 2011 | 512.637 | 33% | 90.015 | 18% |
| 2012 | 495.210 | 36% | 101.959 | 14% |
| 2013 | 533.533 | 33% | 103.497 | 11% |
| 2014 | 537.436 | 33% | 106.265 | 12% |
| 2015 | 559.172 | 34% | 104.695 | 15% |
| 2016 | 612.515 | 34% | 101.372 | 16% |
| 2017 | 634.807 | 33% | 105.693 | 15% |
| 2018 | 657.385 | 33% | 113.142 | 14% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en información de las empresas

4.2.6.3.2. Factores de emisión

El factor de emisión de CO₂ para la producción de vidrio depende del tipo de producción. Ante la falta de factores de emisión país específico, se aplicó el factor de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 2.6; Capítulo 2; Volumen 3) el cual corresponde a 0,21 kg de CO₂/kg de vidrio, tanto para el vidrio flotado como para el vidrio recipiente.

4.2.6.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es ±13 %. En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.4.2.; Capítulo 2; Volumen 3). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 125.

Tabla 125. 2.A.3. Producción de vidrio: resumen de la incertidumbre combinada, 2016

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|----------------------|-----------------|---|------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.A.3. | Producción de vidrio | CO ₂ | 7,1% | 7,1% | 11,2% | 11,2% | 13,2% | 13,2% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Se concluye de la tabla anterior que la mayor fuente de incertidumbre corresponde a la relacionada con los factores de emisión por defecto y, por lo tanto, a la ausencia de factores país específico.

4.2.6.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018, se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Adicionalmente los valores de la serie fueron revisados y, de acuerdo con lo informado por las empresas, no contiene mayores problemas o vacíos.

4.2.6.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.2.6.6.1. Verificación

No se realizaron actividades de verificación para esta subcategoría.

4.2.6.7. Recálculos

No se realizaron recálculos para esta subcategoría.

4.2.6.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Trabajar con RETC para levantar datos a través de sus procedimientos.
- Estimar valores de incertidumbre nacionales.

4.2.7. Otro uso de carbonatos en los procesos (2.A.4.)

Esta subcategoría no fue estimada en parte porque no se tienen datos de actividad.

Se verificó con la industria del molibdeno y del litio, industrias importantes en Chile, que en sus procesos no se generan emisiones de GEI por uso de carbonatos.

4.2.8. Otros (2.A.5.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.3. Industria química (2.B.)

4.3.1. Descripción de la categoría

La categoría *Industria química* incluye las emisiones de GEI que resultan de la producción de varios productos inorgánicos y orgánicos para los cuales la experiencia de varios países ha confirmado que

contribuyen significativamente a los niveles de emisión mundial o nacional de GEI. Las subcategorías asociadas son las siguientes:

- 2.B.1. Producción de amoníaco.
- 2.B.2. Producción de ácido nítrico.
- 2.B.3. Producción de ácido adípico.
- 2.B.4. Producción de caprolactama, glioxil y ácido glioxílico
- 2.B.5. Producción de carburo
- 2.B.6. Producción de dióxido de titanio
- 2.B.7. Producción de ceniza de sosa
- 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo

En el contexto nacional, esta categoría incluye las emisiones de los procesos productivos siguientes:

- Producción de ácido nítrico
- Producción de metanol, y
- Producción de etileno.

4.3.2. Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Industria química* es la cuarta categoría emisora de GEI del sector IPPU (8 %). En 2018, sus emisiones de GEI contabilizaron 512 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 46 % desde 1990 y aumentando en un 8 % desde 2016. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la producción de metanol y de ácido nítrico. Las emisiones de GEI han disminuido desde 2006 por la fuerte caída de la producción de metanol, asociada a la disminución de la oferta de gas natural, principal insumo de la industria y a la instalación de medidas de abatimiento en la industria del ácido nítrico. La variabilidad de los últimos años en las emisiones de la industria del ácido nítrico responde a variaciones en la producción y a eficiencia de los equipos de abatimiento, junto a la instalación de nuevos equipos. Adicionalmente desde 2016 se comienza a producir mayor cantidad de metanol por la nueva disponibilidad de gas natural⁵⁷ (Tabla 126 y Figura 69).

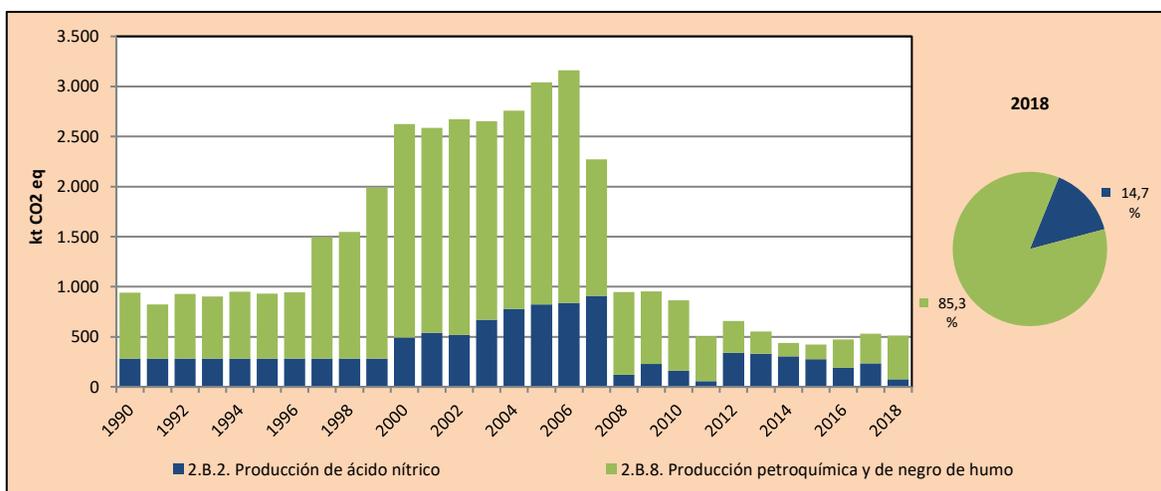
Tabla 126. 2.B. Industria química: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2.B.2. Producción de ácido nítrico | 283,6 | 492,2 | 163,0 | 331,1 | 190,8 | 235,4 | 75,5 |
| 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo | 657,5 | 2.132,0 | 702,3 | 221,5 | 281,6 | 295,5 | 436,5 |
| Total | 941,1 | 2.624,2 | 865,3 | 552,6 | 472,4 | 530,9 | 512,0 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 69. 2.B. Industria química: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

⁵⁷ Recuperado de <<https://www.portalminero.com/pages/viewpage.action?pageId=124487893>>



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría se aplicó el método Nivel 3 para la emisión de N_2O de la subcategoría *Producción de ácido nítrico* basado en los reportes al Mecanismo de desarrollo limpio (MDL) de la empresa Enaex. Para la subcategoría *Producción petroquímica y de negro de humo* se utilizó Nivel 1, usando datos de actividades del país y factores de emisión por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. De acuerdo con lo reportado por la Asociación Gremial de Industriales Químicos de Chile (ASIQUM A.G.)⁵⁸ no existe producción nacional representativa para el resto de las subcategorías. En la Tabla 127 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 127. 2.B. Industria química: métodos aplicados por subcategoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | | HFC | | PFC | | SF ₆ | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 2.B. Industria química | T1, NO | D, NO | T1, NO | D, NO | T3, T2, NO | CS, NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 2.B.1. Producción de amoníaco | NO | NO | | | | | | | | | | |
| 2.B.2. Producción de ácido nítrico | | | | | T3, T2 | CS | | | | | | |
| 2.B.3. Producción de ácido adípico | | | | | NO | NO | | | | | | |
| 2.B.4. Producción de caprolactama, glioxil y ácido glioxílico | | | | | NO | NO | | | | | | |
| 2.B.5. Producción de carburo | NO | NO | NO | NO | | | | | | | | |
| 2.B.6. Producción de dióxido de titanio | NO | NO | | | | | | | | | | |
| 2.B.7. Producción de ceniza de sosa | NO | NO | | | | | | | | | | |
| 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo | T1 | D | T1 | D | | | | | | | | |
| 2.B.9. Producción fluorquímica | | | | | | | | | | | | |
| 2.B.10. Otros (especificar) | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.4. Producción de amoníaco (2.B.1.)

⁵⁸ Recuperado de http://www.asiquim.com/nwebg/guia_quimica2014-16/empreyproduc/empreypro.html

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.3.5. Producción de ácido nítrico (2.B.2.)

4.3.5.1. Descripción de la subcategoría

El ácido nítrico se emplea en la industria química para la producción de nitratos metálicos, ácido sulfúrico, ácido arsénico y ácido nitroso, entre otros. Además, el ácido nítrico es utilizado para la fabricación de explosivos, fabricación de diversos colorantes y tinturas, productos farmacéuticos, para fotograbado en imprentas, en joyería y en la industria de la ingeniería. Durante la producción de ácido nítrico (HNO_3) se genera óxido nitroso (N_2O) como un producto derivado no intencional de la oxidación catalítica a altas temperaturas del amoníaco (NH_3).

Entre 1990 y 2012, la producción de ácido nítrico en Chile ha mantenido un crecimiento constante, desde 2013 dejó de crecer y ha presentado una leve disminución desde 2016. En Chile existe una única empresa que produce ácido nítrico.

4.3.5.2. Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría *Producción ácido nítrico* es la segunda subcategoría emisora dentro de la categoría *Industria química* representando el 15 % de sus emisiones de GEI. En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 76 kt CO_2 eq, disminuyendo en un 73 % desde 1990 y en un 60 % desde 2016 (Tabla 126 y Figura 69). El principal causante de la tendencia y las variaciones es la incorporación de sistemas de abatimiento de N_2O a partir de 2008 y las variaciones en la producción.

4.3.5.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

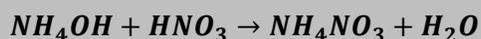
Para la estimación de las emisiones de N_2O de la subcategoría *Producción de ácido nítrico* se aplicó para una parte el método Nivel 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*, basado en el monitoreo continuo de las emisiones (MCE) y en datos de producción de la industria. Este monitoreo se lleva a cabo por los proyectos MDL que luego son certificados por la CMNUCC para generar, con las reducciones, bonos de carbono (CERs).

Por otra parte, para los años y para la fracción de producción que no cuenta con el monitoreo continuo y en que no hay abatimiento, la estimación se basó en la ecuación de Nivel 2 (*Directrices del IPCC de 2006; Ecuación 3.6; Capítulo 3; Volumen*), con un factor de utilización del sistema de reducción nulo, por lo que la estimación se reduce a la multiplicación de los datos de producción por el factor de emisión país específico.

4.3.5.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Enaex produce ácido nítrico en tres líneas de producción, dos de las cuales cuentan con abatimiento y sus respectivas emisiones de N_2O y flujos de producción son monitoreadas desde 2008. Adicionalmente se cuenta con el porcentaje de la producción que se produce en líneas con abatimiento y la producción de nitrato de amonio para la serie 1999-2018, con la que se puede estimar la producción de ácido nítrico por estequiometría de acuerdo con la reacción siguiente.

Ecuación 10. 2.B.2. Producción de ácido nítrico: estequiometría de la reacción para la producción de nitrato de amonio a partir de ácido nítrico



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Para completar el resto de la serie se consideró constante la producción del año 1999, ante la ausencia de mejores datos para extrapolar y como recomendación de la única empresa productora. Las diferencias entre la producción estimada y la real se pueden atribuir a que existe la posibilidad de almacenar el producto ya que para algunos años la diferencia es positiva y para otros negativa.

Tabla 128. 2.B.2. Producción de ácido nítrico estimado en base a producto final y reportado en proyectos MDL: datos de actividad, serie 1990-2018

| Año | Estimado en base a producto final (t) | Producción HNO ₃ reportada en MDL (t) | Diferencia (t) |
|------|---------------------------------------|--|----------------|
| 1990 | 110.268 | | |
| 1991 | 110.268 | | |
| 1992 | 110.268 | | |
| 1993 | 110.268 | | |
| 1994 | 110.268 | | |
| 1995 | 110.268 | | |
| 1996 | 110.268 | | |
| 1997 | 110.268 | | |
| 1998 | 110.268 | | |
| 1999 | 110.268 | | |
| 2000 | 191.393 | | |
| 2001 | 209.902 | | |
| 2002 | 201.711 | | |
| 2003 | 260.546 | | |
| 2004 | 302.527 | | |
| 2005 | 319.461 | | |
| 2006 | 325.683 | | |
| 2007 | 352.777 | | |
| 2008 | 366.797 | 200.109 | -166.688 |
| 2009 | 371.444 | 386.275 | 14.831 |
| 2010 | 505.261 | 360.853 | -144.408 |
| 2011 | 581.504 | 325.741 | -255.763 |
| 2012 | 639.000 | 667.395 | 28.395 |
| 2013 | 608.519 | 686.184 | 77.665 |
| 2014 | 615.608 | 753.326 | 137.719 |
| 2015 | 615.686 | 628.801 | 13.115 |
| 2016 | 559.280 | 580.811 | 21.531 |
| 2017 | 546.400 | 564.782 | 18.382 |
| 2018 | 561.600 | 564.877 | 3.277 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.5.3.2. Factores de emisión

Enaex cuenta con dos proyectos MDL, “Panna 3” y “Panna 4”, para ambos se reportan, para períodos definidos de tiempo, toneladas de HNO₃ producido y sus emisiones de N₂O asociadas. Los registros se agrupan para consolidar emisiones anuales. Adicionalmente, en el proyecto MDL, se estima un factor de emisión histórico para utilizar como línea base. Este factor de emisión histórico es el que se utiliza para los años previos al 2008 y para la fracción de HNO₃ que se produce sin abatimiento y equivale a 8,63 kg N₂O/t HNO₃. De acuerdo con lo recomendado en las *Directrices del IPCC de 2006* el factor de emisión por defecto más alto correspondiente a plantas de alta presión (Cuadro 3.3; Capítulo 3; Volumen 3), es de 9 kg N₂O/t HNO₃, valor similar al nacional.

Utilizando la producción de HNO₃ y las emisiones de N₂O se pueden estimar factores de emisión equivalentes. En promedio equivale a 1,38 kg N₂O/t HNO₃ mientras que el valor por defecto recomendado por las *Directrices del IPCC del* (Cuadro 3.3; Capítulo 3; Volumen 3), es de 2,5 kg N₂O/t HNO₃ para plantas con proceso integrado y destrucción del gas al final del proceso

Tabla 129. 2.B.2. Producción de ácido nítrico: factor de emisión equivalente (kg N₂O/t HNO₃), serie 2008-2018.

| Año | Factor de emisión equivalente (kg N ₂ O/t HNO ₃) |
|------|---|
| 2008 | 2,00 |
| 2009 | 1,98 |
| 2010 | 1,52 |
| 2011 | 0,60 |
| 2012 | 1,71 |
| 2013 | 1,62 |
| 2014 | 1,36 |
| 2015 | 1,48 |
| 2016 | 1,10 |
| 2017 | 1,40 |
| 2018 | 0,45 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.5.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es ± 3 %. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* para datos medidos por las mismas industrias (Sección 3.3.2.2; Capítulo 3; Volumen 3). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 130.

Tabla 130. 2.B.2. Producción de ácido nítrico: incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|-----------------------------|------------------|---|------|---------------------------------------|------|-------------------------|------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.B.2. | Producción de ácido nítrico | N ₂ O | 2,0% | 2,0% | 2,0% | 2,0% | 2,8% | 2,8% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

4.3.5.5. Consistencia de la serie temporal

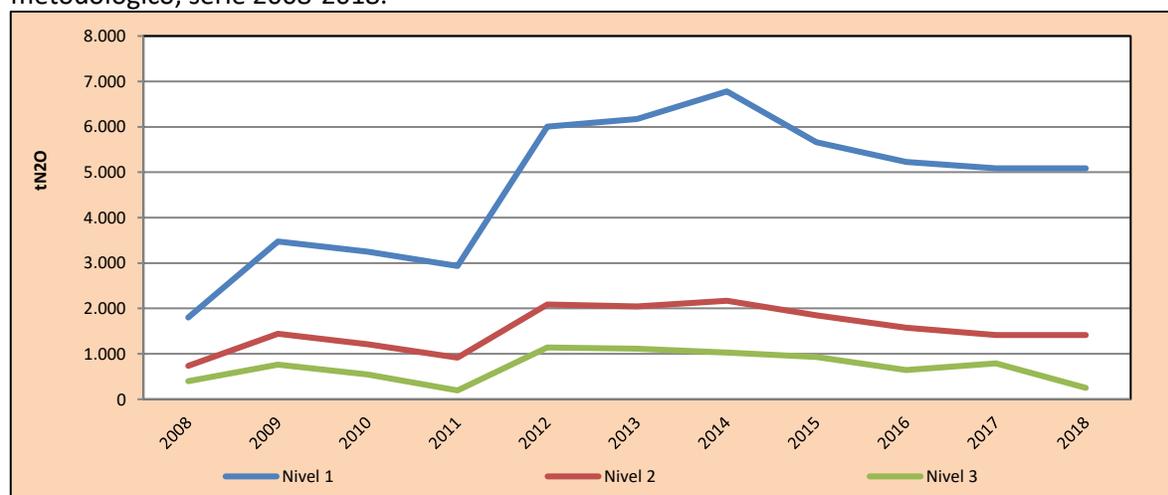
Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018, al estimar las emisiones, tanto, de la fracción de ácido nítrico que se produce sin abatimiento, como de la fracción con abatimiento, se usó la misma fuente para el factor de emisión. Con respecto a los datos de actividad, se comparan los niveles de producción de ácido nítrico, que por un lado se obtiene por la relación estequiométrica a partir del producto final (nitrato de amonio) reportado por la empresa para todos los años de la serie y por otro lado se obtiene directamente del ácido nítrico reportado a los proyectos MDL a partir de 2008 (Tabla 128). Se observa que existen diferencias en la producción anual, pero esta disminuye al comparar la producción acumuladas del periodo, por lo que las diferencias se atribuyen a que se puede almacenar el ácido nítrico que es un producto intermedio.

4.3.5.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.3.5.6.1. Verificación

Se compararon las emisiones estimadas mediante los distintos niveles, a partir de 2008. Como se aprecia en la Figura 70, la tendencia es similar para los Nivel 2 y Nivel 3, mientras que para el Nivel 1 la estimación es más alta debido a que no considera abatimiento.

Figura 70. 2.B.2. Producción de ácido nítrico: comparación de emisiones de N₂O (t) por nivel metodológico, serie 2008-2018.



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.5.7. Recálculos

4.3.5.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se utilizaron datos de medición efectiva de emisiones de N₂O en la industria. Las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 3.3.2.1; Capítulo 3; Volumen 3) recomiendan que si se tienen datos medidos es una buena práctica usarlos.

4.3.5.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 131 y Figura 71 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI 2016). La mayor diferencia se observa el 2007 lo que se debe a que en el inventario anterior se consideró que la medida de abatimiento comenzó en 2007, pero

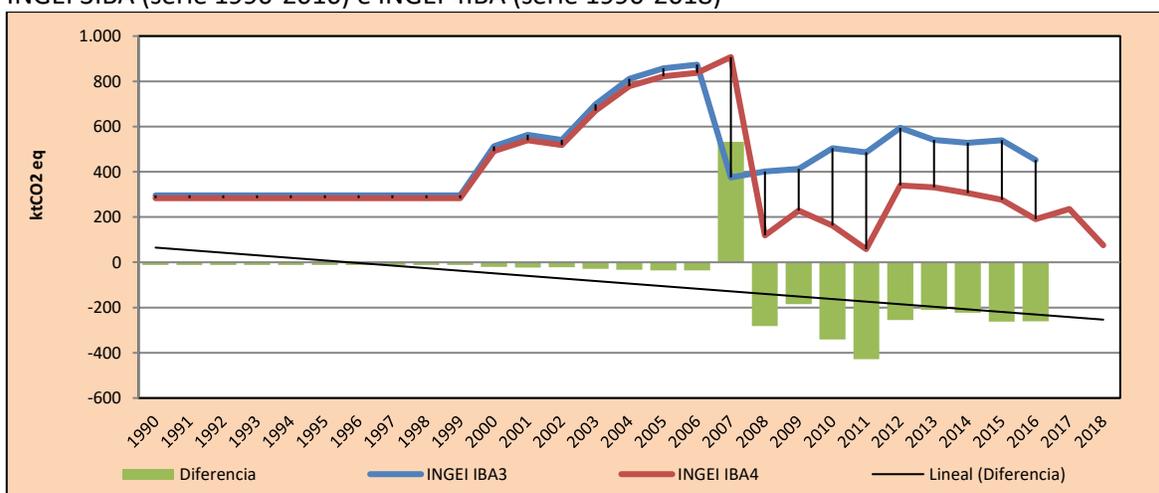
con los nuevos datos se observó que efectivamente comenzó en 2008. Las diferencias entre 2008 y 2016 corresponden a que, por un lado, la producción antes se estimaba en base a la producción del producto final (nitrato de amonio), mientras que ahora se obtuvo directamente la producción de ácido nítrico. Por otro lado, antes se utilizó un factor de emisión por defecto y ahora valores reales que son variables ya que la efectividad de las medidas de reducción es también variable.

Tabla 131. 2.B.2. Producción de ácido nítrico: comparación de emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|--------|--------|---------|---------|---------|-------|------|
| INGEI IBA3 | 295,7 | 513,3 | 504,0 | 541,3 | 452,2 | | |
| INGEI IBA4 | 283,6 | 492,2 | 163,0 | 331,1 | 190,8 | 235,4 | 75,5 |
| Diferencia | - 12,2 | - 21,1 | - 341,0 | - 210,2 | - 261,5 | | |
| Diferencia % | -4,3% | -4,3% | -209,2% | -63,5% | -137,1% | | |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 71. 2.B.2. Producción de ácido nítrico: comparación de emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.5.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Corroborar con la industria razón de las diferencias entre producción real y estimada de ácido nítrico. Corroborar además emisiones estimadas adicionales a las reportadas en MDL.

4.3.6. Producción de ácido adípico (2.B.3.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.3.7. Producción de caprolactama glioxil y ácido glioxílico (2.B.4.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.3.8. Producción de carburo (2.B.5.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.3.9. Producción de dióxido de titanio (2.B.6.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.3.10. Producción de ceniza de sosa (2.B.7.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.3.11. Producción petroquímica y de negro de humo (2.B.8.)**4.3.11.1. Descripción de la subcategoría**

La industria petroquímica utiliza combustibles fósiles o productos de refinerías de petróleo como alimentación a procesos. En Chile, la industria petroquímica incluye a la producción de metanol y la producción de etileno.

Entre 1990 y 2016, la producción petroquímica presenta un aumento y luego una disminución, atribuyéndose estas variaciones a la oferta de gas natural, principal insumo para la producción de metanol. Entre 2016 y 2018 vuelve a aumentar la producción de metanol por la misma causa. Con respecto al etileno, la producción se mantuvo constante hasta 2014 en que cerró la única planta productora de Chile, a cargo de ENAP (Memoria anual ENAP, 2014).

4.3.11.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 437 kt CO₂ eq (representando el 85 % de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo en un 34 % desde 1990 y aumentando en un 55 % desde 2016 (Tabla 126 y Figura 69). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la producción de metanol, que representa el 100 % de las emisiones de la subcategoría al 2018 (Tabla 132 y Figura 72). Las variaciones interanuales observadas en la componente metanol se deben principalmente a la caída del abastecimiento de gas natural por parte de Argentina (*Reporte Anual de Methanex 2012*)⁵⁹ y posterior repunte a partir de 2016.

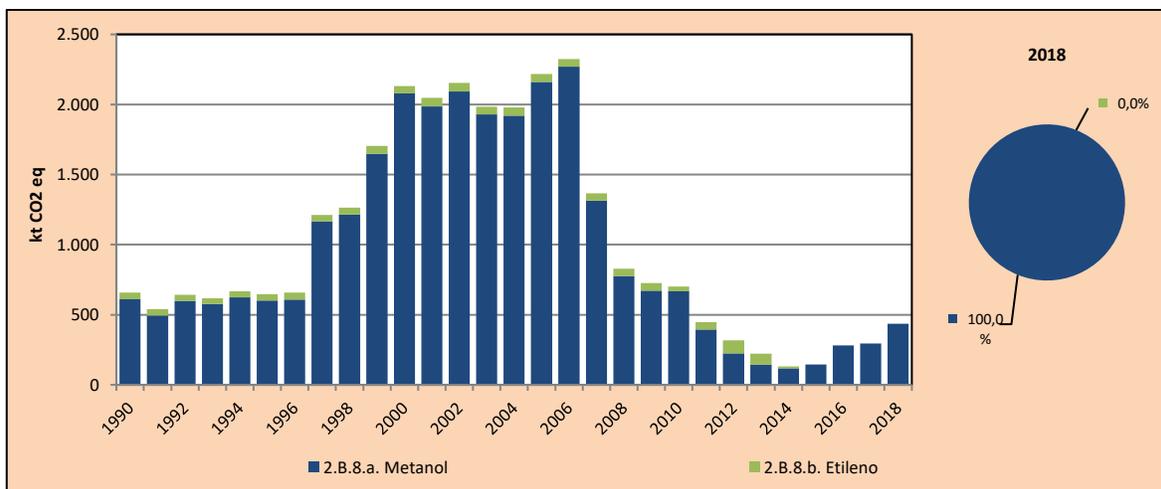
Tabla 132. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2.B.8.a. Metanol | 609,5 | 2.077,9 | 667,6 | 145,4 | 281,6 | 295,5 | 436,5 |
| 2.B.8.b. Etileno | 48,0 | 54,1 | 34,7 | 76,1 | NO | NO | NO |
| Total | 657,5 | 2.132,0 | 702,3 | 221,5 | 281,6 | 295,5 | 436,5 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 72. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

⁵⁹ Recuperado de <http://www.methanex.cl/noticias/2013/noticia0313a.pdf>



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.11.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Producción petroquímica y de negro de humo* se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* basada en la multiplicación de los datos de la actividad productiva de cada componente por el factor de emisión correspondiente.

Metanol (2.B.8.a.)

Para la estimación de emisiones de CO₂ debido a la producción de metanol se aplicó el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*; Ecuación 3.15; Capítulo 3; Volumen 3.

Es importante notar el factor de ajuste geográfico (GAF) que da cuenta de la variabilidad regional de la eficiencia de los fraccionadores al vapor no se considera para la producción de metanol, ya que solo es aplicable a la producción de etileno, de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 3.9.2.2.; Capítulo 3; Volumen 3).

Para la estimación de emisiones de CH₄ debido a la producción de metanol se aplicó el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Ante la falta de información desagregada, se consideran las emisiones en su totalidad, usando un único factor de emisión por defecto de acuerdo con las recomendaciones de las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 3.9.2.2.; Capítulo 3; Volumen 3). Lo anterior se representa en la ecuación siguiente:

Ecuación 11. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: estimación de emisiones de CH₄ de la producción de metanol (Nivel 1)

$$Emisiones\ de\ CH_4 = FE_{CH_4} \cdot PM$$

Fuente: Ecuaciones 3.23 y 3.24, y Sección 3.9.2.2; Capítulo 3; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- Emisiones de CH₄: emisiones de CH₄ de la producción de metanol, toneladas.
- FE_{CH₄}: factor de emisión de CH₄ para la producción de metanol, toneladas de CH₄/toneladas de metanol producido.
- PM: producción de metanol, toneladas.

Etileno (2.B.8.b.)

Para la estimación de emisiones de CO₂ debido a la producción de etileno se aplicó el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*; Ecuación 3.15; Capítulo 3; Volumen 3.

Para la estimación de emisiones de CH₄ debido a la producción de etileno se aplicó el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Ante la falta mejor información, se consideran las emisiones en su totalidad, usando un único factor de emisión por defecto de acuerdo con las recomendaciones de las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 3.9.2.2.; Capítulo 3; Volumen 3). Lo anterior se representa en la ecuación siguiente:

Ecuación 12. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: estimación de emisiones de CH₄ de la producción de etileno (Nivel 1)

$$Emisiones\ de\ CH_4 = FE_{CH_4} \cdot PE$$

Fuente: Ecuaciones 3.23 y 3.24, y Sección 3.9.2.2; Capítulo 3; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- Emisiones de CH₄: emisiones de CH₄ de la producción de etileno, toneladas.
- FE_{CH₄}: factor de emisión de CH₄ para la producción de etileno, toneladas de CH₄/toneladas de etileno producido.
- PE: producción de etileno, toneladas.

4.3.11.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de la producción de metanol y de etileno fueron obtenidos del Balance Nacional de Energía (BNE), elaborado por el Ministerio de Energía. Se consideraron los valores en unidades energéticas (Tcal) los que fueron llevados a unidades másicas por el equipo técnico del sector IPPU. Los poderes caloríficos considerados fueron los siguientes:

Tabla 133. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: Poderes caloríficos del BNE.

| Poder calorífico superior | Valor | Unidad |
|---------------------------|----------|---------|
| Metanol | 5.518,2 | kcal/kg |
| Etileno | 12.020,0 | kcal/kg |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA en base al BNE elaborado por el Ministerio de Energía

En el caso de la producción de metanol, el valor para el año 1996 debió ser corregido por escaparse de la tendencia. Para la producción de etileno no se contaron con los valores para 1990, por lo que debieron ser extrapolado usando la tendencia de los tres años siguientes. Los resultados de esto se muestran en la Tabla 134.

Tabla 134. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: datos de actividad, serie 1990-2018

| Año | Metanol (t) | Etileno (t) |
|------|-------------|-------------|
| 1990 | 837.768,0 | 40.191,3 |
| 1991 | 679.746,4 | 38.327,8 |
| 1992 | 823.995,5 | 36.414,3 |
| 1993 | 791.557,6 | 34.575,7 |
| 1994 | 857.339,5 | 35.357,7 |
| 1995 | 824.901,6 | 38.851,9 |
| 1996 | 836.680,7 | 41.763,7 |

| Año | Metanol (t) | Etileno (t) |
|------|-------------|-------------|
| 1997 | 1.603.773,9 | 37.936,8 |
| 1998 | 1.667.562,4 | 42.204,7 |
| 1999 | 2.265.036,2 | 46.921,8 |
| 2000 | 2.856.167,3 | 45.291,2 |
| 2001 | 2.730.946,1 | 50.748,8 |
| 2002 | 2.876.101,2 | 52.262,9 |
| 2003 | 2.651.391,7 | 46.447,6 |
| 2004 | 2.640.623,6 | 48.934,9 |
| 2005 | 2.970.882,1 | 47.706,0 |
| 2006 | 3.121.306,4 | 44.225,0 |
| 2007 | 1.806.164,9 | 43.452,7 |
| 2008 | 1.067.039,9 | 42.755,4 |
| 2009 | 923.859,6 | 44.255,2 |
| 2010 | 917.621,5 | 29.029,6 |
| 2011 | 543.269,3 | 42.498,6 |
| 2012 | 307.734,0 | 79.206,0 |
| 2013 | 199.928,2 | 63.662,7 |
| 2014 | 162.159,0 | 11.628,6 |
| 2015 | 200.045,9 | 0,0 |
| 2016 | 387.087,6 | 0,0 |
| 2017 | 406.136,2 | 0,0 |
| 2018 | 599.964,1 | 0,0 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.11.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión para la producción de metanol dependen del tipo de proceso. Se consideró un proceso de reformado al vapor convencional sin unidad de reformado primaria, de acuerdo a lo recomendado por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.11; Capítulo 3; Volumen 3) cuando no se cuenta con información adicional (Tabla 135).

Tabla 135. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: Factores de emisión para la componente Metanol

| Factor | Valor | Unidad |
|---|-------|----------------------------------|
| (*) Factor de emisión de CO ₂ | 0,67 | t CO ₂ /t metanol |
| (**) Factor de emisión de CH ₄ | 2,30 | kg de CH ₄ /t metanol |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en (*) Cuadro 3.12; Capítulo 3; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006* (**) Sección 3.9.2.2.; Capítulo 3; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*.

Los factores de emisión para la producción de etileno dependen del tipo de proceso. Para seleccionar los factores, se consideró un proceso de escisión al vapor, siendo el etano la sustancia de alimentación, de acuerdo a lo recomendado por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.11; Capítulo 3; Volumen 3) cuando no se cuenta con información adicional (Tabla 136).

Tabla 136. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: Factores de emisión para la componente Etileno

| Factor | Valor | Unidad |
|---|--------|-------------------------------|
| (*) Factor de emisión de CO ₂ | 0,95 | t CO ₂ /t etileno |
| (**) Factor de emisión de CH ₄ | 6,00 | kg CH ₄ /t etileno |
| (***) Factor de ajuste geográfico | 110,0% | |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en (*) Cuadro 3.14; Capítulo 3; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006* (**) Cuadro 3.16; Capítulo 3; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006* (***) Cuadro 3.15; Capítulo 3; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*.

4.3.11.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de -25 % y +29 %. La incertidumbre de los datos de actividad fue entregada por el equipo elaborador del BNE. No se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.27; Capítulo 3; Volumen 3). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada por componente se presenta en la Tabla 137.

Tabla 137. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------|-----------------|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.B.8.a. | Metanol | CH ₄ | 2,0% | 2,0% | 95,7% | 95,7% | 95,7% | 95,7% |
| 2.B.8.a. | Metanol | CO ₂ | 2,0% | 2,0% | 30,0% | 30,0% | 30,1% | 30,1% |
| 2.B.8.b. | Etileno | CH ₄ | 10,0% | 10,0% | 60,0% | 60,0% | 60,8% | 60,8% |
| 2.B.8.b. | Etileno | CO ₂ | 10,0% | 10,0% | 10,0% | 10,0% | 14,1% | 14,1% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Se concluye de la tabla anterior que, a pesar de mejorar el método de estimación, la mayor fuente de incertidumbre corresponde a la relacionada con los factores de emisión por defecto y, por lo tanto, a la ausencia de factores país específico.

4.3.11.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

4.3.11.5.1. Verificación

No se realizaron actividades de verificación para esta subcategoría

4.3.11.6. Recálculos

4.3.11.6.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se determinó que desde 2014 la producción de etileno ya no ocurre en el país, mientras que en el inventario anterior se asumió que se seguía produciendo por reportarse en el Balance Nacional de Energía, sin embargo, se reporta junto a otras sustancias lo que genera esta confusión.

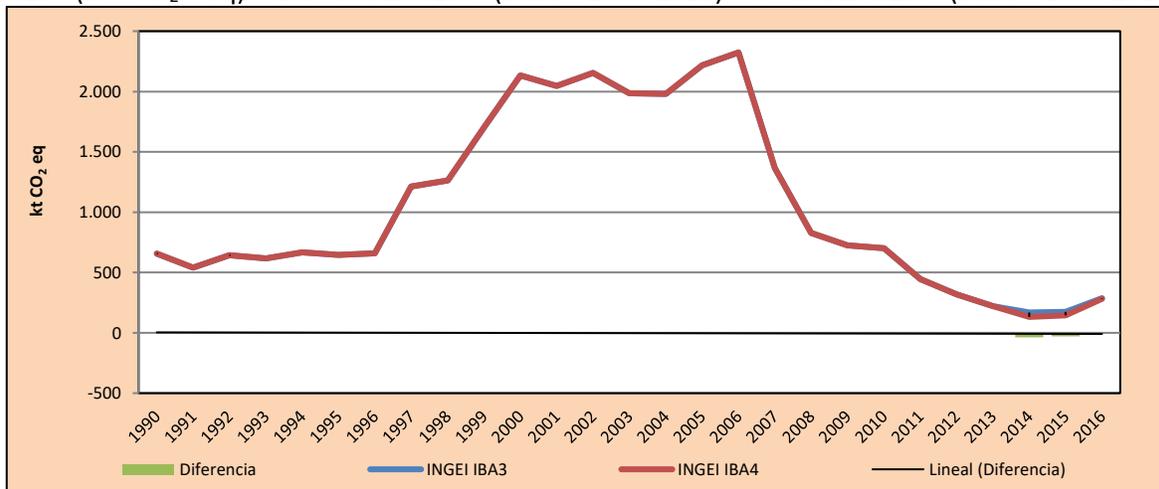
4.3.11.6.2. Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 138 y Figura 73 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI IBA3). La diferencia es mínima y se debe cambios en los datos de actividad de producción del etileno. Esto generó una disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 69 kt CO₂ eq anuales entre 2014 y 2016.

Tabla 138. 2.B.8. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018))

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| INGEI IBA3 | 657,5 | 2.132,0 | 702,3 | 221,5 | 286,1 | - | - |
| INGEI IBA4 | 657,5 | 2.132,0 | 702,3 | 221,5 | 281,6 | 295,5 | 436,5 |
| Diferencia | 0,0 | - | - | 0,0 | - | 4,5 | |
| Diferencia % | 1,4% | -1,8% | -1,8% | 11,0% | 21,3% | | |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 73. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.11.7. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Conformación de mesa de trabajo con la empresa Methanex, única empresa productora de metanol, para levantar información estadística y paramétrica de primera fuente, y verificar la información oficial. Incluir a otros interesados como ENAP y la SEREMI de la región de Magallanes.

4.3.12. Producción fluorquímica (2.B.9.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.3.13. Otros (2.B.10.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.4. Industria de los metales (2.C.)

4.4.1. Descripción de la categoría

La categoría *Industria de los metales* incluye las emisiones de GEI relacionadas que resultan de la producción de metales. Las subcategorías asociadas son las siguientes:

- 2.C.1. Producción de hierro y acero
- 2.C.2. Producción de ferroaleaciones
- 2.C.3. Producción de aluminio
- 2.C.4. Producción de magnesio
- 2.C.5. Producción de plomo
- 2.C.6. Producción de cinc

En el contexto nacional, esta categoría incluye las emisiones de los procesos productivos siguientes:

- Producción de hierro y acero
- Producción de ferroaleaciones
- Producción de plomo (reciclaje de baterías)

4.4.2. Tendencia de las emisiones de GEI

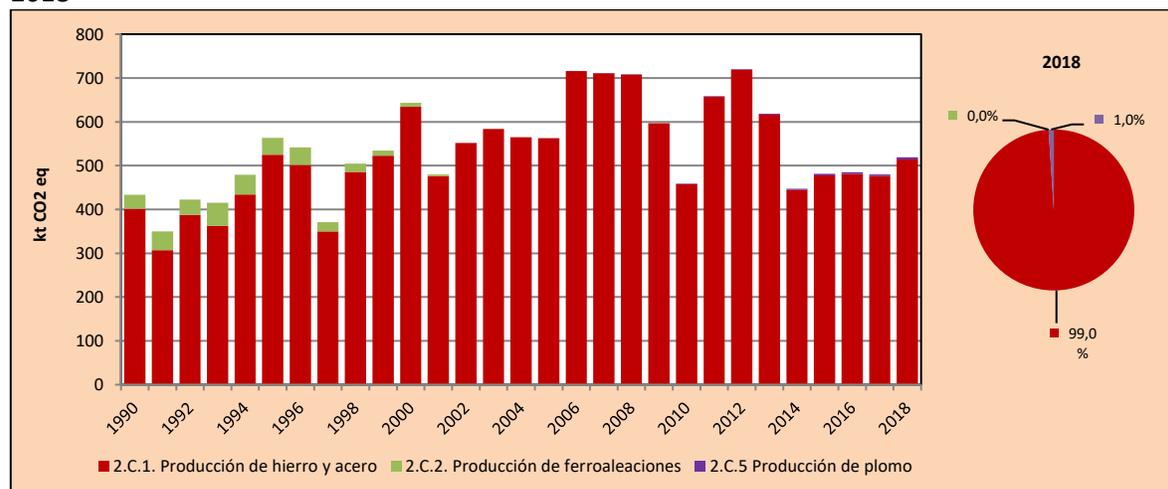
La categoría *Industria de los metales* es la tercera categoría emisora de GEI del sector IPPU (8 %). En 2018, sus emisiones de GEI contabilizaron 519 kt CO₂ eq, aumentando en un 20 % desde 1990 y en un 7 % desde 2016. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la industria del acero. Esta presenta variabilidad debido a que la producción depende de los mercados⁶⁰ y además por la eficacia en el aprovechamiento de los gases generados en los altos hornos. Esto se evidencia por ejemplo en 2009 y 2010 que afectaron la producción la crisis económica mundial y el terremoto de Chile (Tabla 139 y Figura 74). A partir de 2002 se dejaron de producir ferroaleaciones en el país por lo que desde ese año las emisiones no ocurren.

Tabla 139. 2.C. Industria de los metales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2.C.1. Producción de hierro y acero | 401,6 | 634,8 | 457,1 | 616,5 | 481,0 | 475,9 | 513,7 |
| 2.C.2. Producción de ferroaleaciones | 31,7 | 8,5 | NO | NO | NO | NO | NO |
| 2.C.5 Producción de plomo | 0,0 | 0,0 | 1,4 | 1,8 | 3,6 | 4,3 | 5,4 |
| Total | 433,3 | 643,4 | 458,4 | 618,3 | 484,6 | 480,1 | 519,2 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

⁶⁰ https://www.cochilco.cl/Mercado de Metales/Mercado internacional del hierro y el acero_VF.pdf

Figura 74. 2.C. Industria de los metales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.4.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría se utilizaron los métodos de Nivel 1 y 2, usando datos de actividades país específicos desagregados y factores de emisión por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. Según lo conversado con la Asociación Chilena de Industrias metalúrgicas y metalmeccánicas (ASIMET), no se registran actividades para el resto de las subcategorías. A partir de 2002, la producción de ferroaleaciones deja de ocurrir de acuerdo con datos reportados por la USGS, a datos de importación y exportación de aduana y a información de Carbomet, empresa que producía ferrocromo⁶¹. Adicionalmente desde 2007 se comienzan a reciclar baterías de plomo en el país, por lo que aparecen emisiones en la subcategoría *Producción de plomo*. En la Tabla 140 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI. Las emisiones de CH₄ de hierro y acero por la producción de coque se reportan en el sector Energía en *Hierro y acero* (1.A.2.a.).

Tabla 140. 2.C. Industria de los metales: métodos aplicados por subcategoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | | HFC | | PFC | | SF ₆ | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 2.C. Industria de los metales | T1, T2, NO | D, CS, NO | IE, NO | IE, NO | | | | | NO | NO | NO | NO |
| 2.C.1. Producción de hierro y acero | T2 | D, CS | IE | IE | | | | | | | | |
| 2.C.2. Producción de ferroaleaciones | T1 | D | NO | NO | | | | | | | | |
| 2.C.3. Producción de aluminio | NO | NO | | | | | | | NO | NO | | |
| 2.C.4. Producción de magnesio | NO | NO | | | | | | | | | NO | NO |
| 2.C.5. Producción de plomo | T2 | D | | | | | | | | | | |
| 2.C.6. Producción de cinc | NO | NO | | | | | | | | | | |
| 2.C.7. Otros (especificar) | | | | | | | | | | | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

⁶¹ http://www.molymet.cl/en/Inversionistas/Memorias/MO_MEM_2006.pdf

Para todas las subcategorías de la categoría *Industria de los metales* se utilizaron planillas Excel para llevar a cabo las estimaciones.

4.4.4. Producción de hierro y acero (2.C.1.)

4.4.4.1. Descripción de la subcategoría

El hierro es el metal más producido en tonelaje, acaparando un 95 % de la producción mundial de todos los metales. Tiene grandes aplicaciones en productos siderúrgicos, utilizándolo como elemento matriz para alojar otros elementos de aleación, tanto metálicos como no metálicos, que confieren distintas propiedades al material.

Entre 1990 y 2018, la producción de hierro en Chile se ha mantenido constante, con variaciones que provienen principalmente por la demanda para la producción de acero. Por su parte, la producción de acero, que se realiza mediante hornos básicos de oxígeno (BOF, por sus siglas en inglés) y hornos de acero eléctrico (EAF, por sus siglas en inglés), se mantuvo en alza hasta el 2007, en donde comienza con un periodo de inestabilidad hacia la baja. Esta situación se condice con el estancamiento y debilitamiento del consumo de acero a nivel internacional presentado desde 2013⁶². Adicionalmente el terremoto ocurrido en 2010 produjo una disminución importante en la producción de acero durante ese año, la que luego se recuperó rápidamente por el posterior periodo de reconstrucción.

4.4.4.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 514 kt CO₂ eq aumentando en un 28 % desde 1990 y en un 7 % desde 2016 (Tabla 139 y Figura 74). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales son las emisiones asociadas a la producción de acero de BOF, que alcanza un 88 % de las emisiones de GEI totales de la subcategoría (Tabla 141 y Figura 75). Es importante mencionar que el 2010 hay una disminución de las emisiones producto de las dificultades de la industria ubicadas en el sur del país luego del terremoto ocurrido en febrero de ese año, efecto que se suma a la crisis internacional. Adicionalmente desde 2013 se detiene la producción de aceros planos, y se enfoca únicamente en aceros largos disminuyendo significativamente la producción⁶³.

Tabla 141. 2.C.1. Producción de hierro y acero: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Producción de Pellet | 48,3 | 57,4 | 54,6 | 23,4 | 52,5 | 46,9 | 40,7 |
| Producción de Acero BOF | 353,3 | 560,0 | 361,8 | 563,1 | 409,7 | 406,8 | 450,4 |
| Producción de Acero EAF | 0,0 | 17,4 | 40,6 | 30,0 | 18,8 | 22,2 | 22,6 |
| Total | 401,6 | 634,8 | 457,1 | 616,5 | 481,0 | 475,9 | 513,7 |

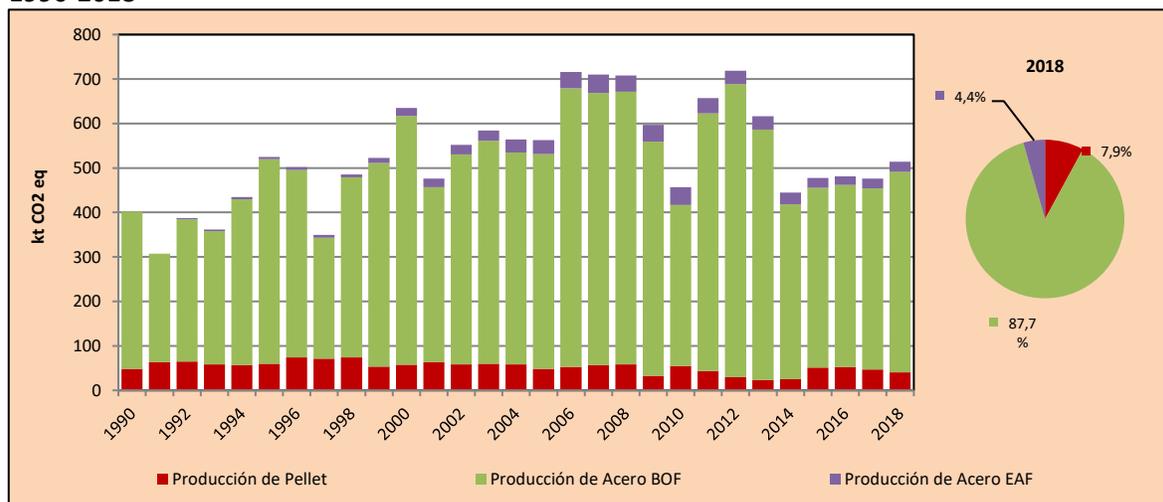
Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

62

https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Mercado%20internacional%20del%20hierro%20y%20el%20acero_VF.pdf

63

https://www.cap.cl/cap/site/artic/20180910/asocfile/20180910181440/presentacio__n_erick_weber_aprimin_5_septiembre_2018_web.pdf

Figura 75. 2.C.1. Producción de hierro y acero: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

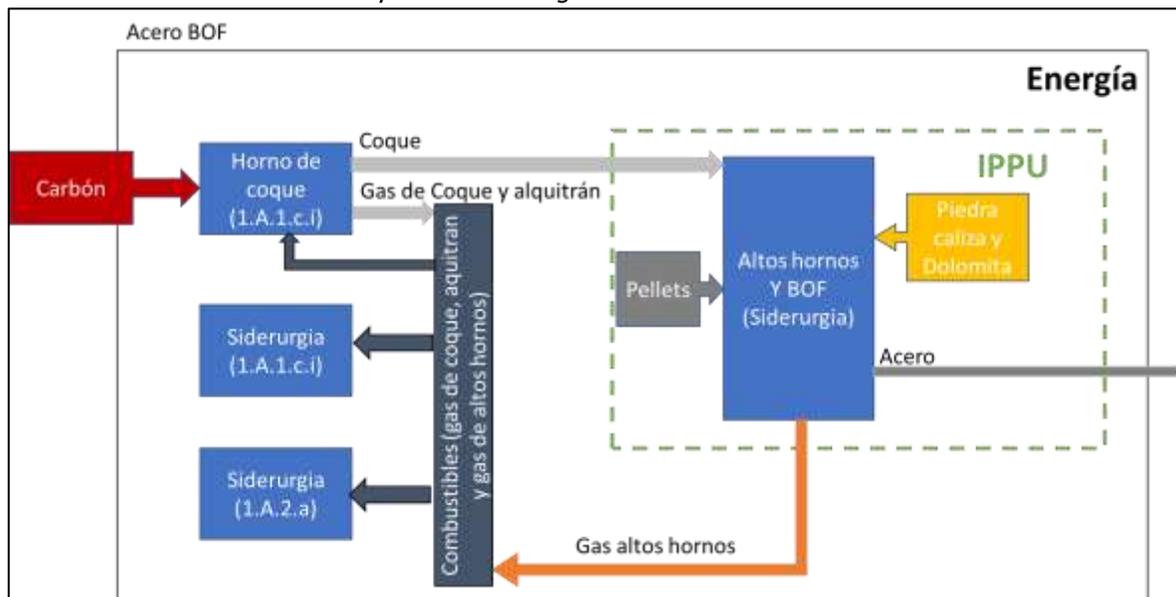
Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.4.4.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Producción de hierro y acero* se aplicó el método Nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*; Ecuación 4.9; Capítulo 4; Volumen 3, basado en los datos del uso de las diferentes materias primas y la producción nacional de hierro y acero por tipo de proceso. El método es un balance de masa del carbono contenido en las materias primas y el contenido en los productos de salida (pellet de hierro y acero). El carbono restante es llevado a CO₂ en base a la estequiometría correspondiente.

Es importante mencionar que, para el caso del acero producido, se debió distinguir entre el acero BOF y el EAF dado que su contenido de carbono es distinto. No existe producción de acero por medio de hornos de reverbero (OHF, por sus siglas en inglés). Adicionalmente se resalta que el carbono contenido en el gas de altos hornos que se quema dentro de las instalaciones con fines energéticos se resta ya que su emisión se considera en el sector *Energía*, lo que corresponde a una mejora con respecto al inventario anterior, evitando una doble contabilización de estas emisiones. Las emisiones consideradas en el sector *IPPU* y en el sector *Energía* de la producción de acero BOF se representan en el siguiente diagrama.

Figura 76. 2.C.1. Producción de hierro y acero: Diagrama de flujos para diferenciar emisiones consideradas en el sector IPPU y el sector Energía.



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.4.4.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de consumo y producción de hierro y acero BOF se obtuvieron por parte de la empresa Compañía de Acero del Pacífico (CAP) para toda la serie temporal. Los datos de consumo y producción de acero EAF fueron entregados por Aza, a partir de 1995. Dado que se tiene conocimiento de que la producción de acero EAF de Aza comenzó en 1992⁶⁴, tanto la producción como los consumos de materias primas para 1992-1994 fueron estimado a partir de una extrapolación lineal de los datos de 1995-1997.

Los valores del contenido de carbono de las materias primas y los productos fueron entregados en su mayoría por las empresas. Para los contenidos de carbono no entregados por las empresas se consideró el valor por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. Estos valores junto a las cantidades se encuentran en el Anexo 07.01.

4.4.4.3.2. Factores de emisión

El método de Nivel 2 no considera factores de emisión, puesto que es un balance de masa del carbono entre las materias primas y los productos de salida.

4.4.4.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de $\pm 11\%$. En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y paramétricos, por lo que consideraron las recomendadas en las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 4.2.3.; Capítulo 4; Volumen 3). Es importante notar que para la incertidumbre de los datos de actividad se consideró la recomendada para datos de actividad derivados por compañía. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 142.

⁶⁴ Recuperado de <http://www.cochilco.cl/estudios/info-hierro.asp>

Tabla 142. 2.C.1. Producción de hierro y acero: incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|------------------------------|-----------------|---|------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.C.1. | Producción de hierro y acero | CO ₂ | 5,0% | 5,0% | 10,0% | 10,0% | 11,2% | 11,2% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en Cuadro 4.4; Capítulo 4; Volumen 3; *Directrices del IPCC 2006*

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Se concluye de la tabla anterior que la mayor fuente de incertidumbre corresponde a la relacionada con los contenidos de carbono de las materias primas, que para efectos de cálculo son presentados en la columna de factores de emisión, y, por lo tanto, a la ausencia de valores país específico.

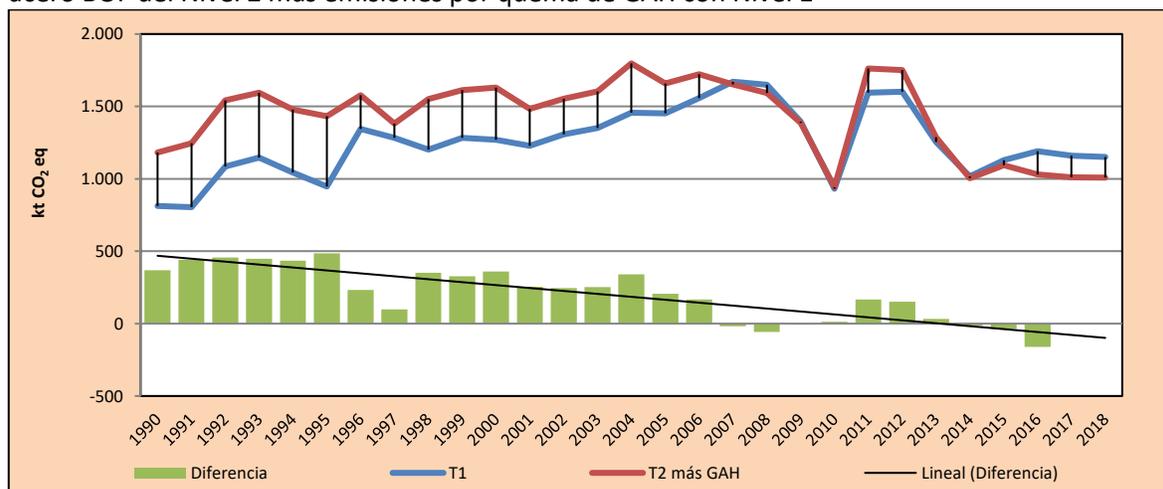
4.4.4.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usó la misma fuente de datos de actividad tanto estadísticos como paramétricos. Los datos de producción entregados por las empresas son consistentes para toda la serie salvo para 1992 al 1994 en el caso de la producción de acero EAF. El vacío de datos fue arreglado por medio de una extrapolación lineal de los datos de producción EAF con base en los datos de 1995 a 1997.

4.4.4.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.4.4.6.1. Verificación

Se compararon las emisiones estimadas con Nivel 1 y Nivel 2. Existen diferencias significativas debido a que para el Nivel 2 se consideró en el balance de masa que el carbono de gas de altos hornos se emite en el sector *Energía*. Al sumar a la estimación del Nivel 2 las emisiones por la quema de gas de altos hornos (GAH) que se producen en el sector *Energía* se obtienen tendencias similares en comparación con el Nivel 1 como se observa en la figura.

Figura 77. 2.C.1. Producción de hierro y acero: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) de acero BOF del Nivel 2 más emisiones por quema de GAH con Nivel 1

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Las emisiones del coque metalúrgico no se contabilizaron en este informe. Todas las emisiones referentes al coque fueron contabilizadas en el sector *Energía*.

4.4.4.7. Recálculos

4.4.4.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

En base a una sugerencia realizada en la revisión experta del INGEI IBA3 se levantó que se estaba reportando una doble contabilidad con el sector *Energía* al considerar en los dos sectores las emisiones del carbono del gas de altos hornos quemado en las instalaciones de producción de acero. Para solucionarlo se mantuvieron las emisiones en el sector *Energía* mientras que en el balance de masas realizado para obtener las emisiones de la producción de acero en el sector IPPU, se restó todo el carbono del gas de altos hornos.

4.4.4.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

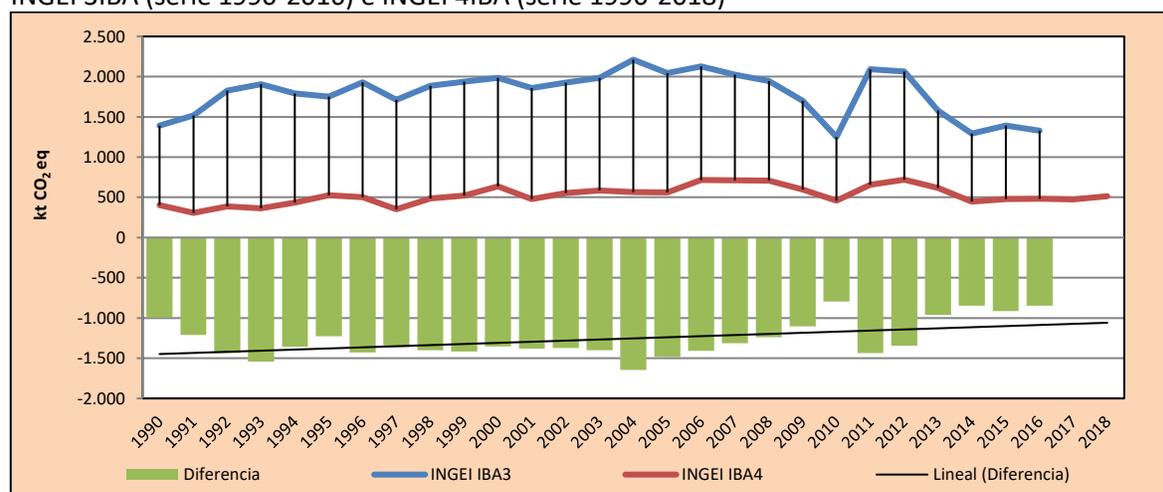
En la Tabla 143 y la Figura 78 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI 3IBA). Las diferencias se deben a que se sacó de las emisiones el CO₂ proveniente del carbono del gas de altos hornos. Esto generó una disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 1268 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2016.

Tabla 143. 2.C.1. Producción de hierro y acero: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|---------|----------|---------|---------|---------|-------|-------|
| INGEI IBA3 | 1.393,7 | 1.986,9 | 1.251,2 | 1.577,4 | 1.327,6 | | |
| INGEI IBA4 | 401,6 | 634,8 | 457,1 | 616,5 | 481,0 | 475,9 | 513,7 |
| Diferencia | -992,1 | -1.352,0 | -794,1 | -960,8 | -846,6 | | |
| Diferencia % | -247,0% | -213,0% | -173,7% | -155,8% | -176,0% | | |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 78. 2.C.1. Producción de hierro y acero: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.4.4.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Trabajar con RETC para levantar datos a través de sus procedimientos.

4.4.5. Producción de ferroaleaciones (2.C.2.)

4.4.5.1. Descripción de la subcategoría

En Chile se han producido cuatro tipos de ferroaleaciones que generan emisiones de GEI: ferrocromo, ferromanganeso, ferrosilicomanganeso y ferrosilicon. Sin embargo, todas se dejaron de producir, el ferrosilicon dejó de producirse en 2000, el ferrosilicomanganeso en 2001, el ferrocromo en 1998 y el ferromanganeso en 2002. Adicionalmente en Chile se produce en grandes cantidades ferromolibdeno, sin embargo, su elaboración no genera emisiones de GEI.

4.4.5.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Producción de ferroaleaciones* se utilizó un método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, basado en la producción de cada tipo de ferroaleación y la aplicación de un factor de emisión por defecto correspondiente. En el caso nacional, se considera la producción de ferrocromo, ferrosilicomanganeso, ferromanganeso y ferrosilicon, siendo la producción de este último única emisora de CH₄. Lo anterior queda representado por las ecuaciones 4.15 y 4.18; Capítulo 4; Volumen 3 de las Directrices.

4.4.5.2.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Las estadísticas nacionales de producción de ferroaleaciones se obtuvieron del *U.S. Geological Survey: The Mineral Industry of Chile – 1994 to 2015*⁶⁵ datos que detallan la producción por tipo de

⁶⁵ Recuperado de <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/sa.html#ci>

ferroaleación (Tabla 144). Es importante mencionar que a partir de 1999 se deja de producir ferrosilicon, por lo que desde 2000 en adelante no ocurren emisiones de CH₄. A partir de 1999 se concluye que deja de haber producción de ferrocromo a pesar de que en la USGS se reporta una producción entre 2005 y 2013, dejando en cero los años 1999 al 2004. Esta producción se desestima, ya que estos datos, de acuerdo con el mismo reporte provienen de las exportaciones del país. Al revisar las empresas exportadoras, que son tres, todas importan cantidades mayores a las exportadas de ferrocromo y al consultar la más grande esta contestó que ya no produce nacionalmente. De todas maneras, cabe destacar que el nivel de producción de estos datos es en promedio un 4,7 % del nivel de producción reportado entre 1990 y 1998.

Tabla 144. 2.C.2. Producción de ferroaleaciones: datos de actividad (t), serie 1990-2018

| Año | Ferrocromo (t) | Ferromanganeso (t) | Ferrosilicomanganeso (t) | Ferrosilicon 90% Si (t) |
|------|----------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1990 | 1.870,0 | 3.590,0 | 985,0 | 4.660,0 |
| 1991 | 2.509,0 | 6.779,0 | 1.674,0 | 5.516,0 |
| 1992 | 2.110,0 | 7.460,0 | 1.564,0 | 3.830,0 |
| 1993 | 680,0 | 8.916,0 | 1.612,0 | 7.550,0 |
| 1994 | 1.579,0 | 9.646,0 | 995,0 | 5.504,0 |
| 1995 | 2.730,0 | 7.987,0 | 1.617,0 | 4.279,0 |
| 1996 | 2.079,0 | 8.498,0 | 1.599,0 | 4.650,0 |
| 1997 | 2.000,0 | 5.517,0 | 3.175,0 | 1.294,0 |
| 1998 | 2.000,0 | 3.652,0 | 3.921,0 | 1.159,0 |
| 1999 | 0,0 | 2.833,0 | 2.048,0 | 1.000,0 |
| 2000 | 0,0 | 4.011,0 | 1.800,0 | 0,0 |
| 2001 | 0,0 | 2.213,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2002 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2003 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2004 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2005 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2006 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2007 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2008 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2009 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2010 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2011 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2012 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2013 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2014 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2015 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2016 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2017 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2018 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en USGS

4.4.5.2.2. Factores de emisión

Los factores de emisión para el CO₂ y CH₄ dependen del tipo de ferroaleación producida. Ante la falta de factores de emisión país específico, se aplicó el factor de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* los que se indican en la Tabla 145.

Tabla 145. 2.C.2. Producción de ferroaleaciones: factores de emisión, por tipo de producto y tipo de GEI.

| Producción | Factor de emisión | Unidad |
|-------------------------|-------------------|------------------------------------|
| Ferrocromo | 1,3 | (t CO ₂ /t producción) |
| Ferromanganeso (1% C) | 1,5 | (t CO ₂ /t producción) |
| Ferrosilicomanganeso | 1,4 | (t CO ₂ /t producción) |
| Ferrosilicon 90% Si | 4,8 | (t CO ₂ /t producción) |
| Ferrosilicon 90% Si (*) | 1,1 | (kg CH ₄ /t producción) |

Fuente: Cuadro 4.5; Capítulo 4; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*; (*) Cuadro 4.7; Capítulo 4; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

4.4.5.3. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

4.4.5.4. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.4.5.4.1. Verificación

La información recopilada fue contrastada con la del inventario anterior. Se mantiene la tendencia y excepto para los años 2005 al 2013 en que existe una pequeña variación por el cambio en datos de actividad.

4.4.5.5. Recálculos

4.4.5.5.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se concluyó que los datos reportados por la USGS de producción de ferrocromo para los años 2005 al 2013 no corresponden a producción nacional, sino que a la exportación de material importado.

4.4.5.5.2. Implicaciones para los niveles de emisión

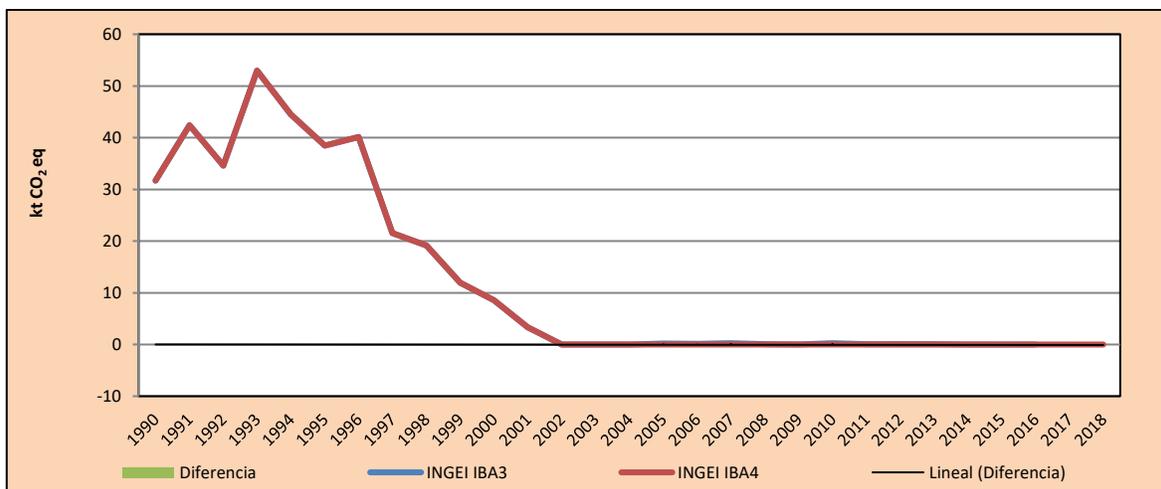
En la Tabla 146 y la Figura 79 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI IBA3). Las diferencias se deben a que se sacó de las emisiones el CO₂ proveniente del carbono del gas de altos hornos. Esto generó una disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 0,1 kt CO₂ eq anuales durante la serie 2005 y 2013.

Tabla 146. 2.C.2. Producción de ferroaleaciones: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018))

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| INGEI IBA3 | 31,7 | 8,5 | 0,2 | 0,1 | - | - | - |
| INGEI IBA4 | 31,7 | 8,5 | - | - | - | - | - |
| Diferencia | - | - | 0,2 | 0,1 | - | - | - |
| Diferencia % | | | | | | | |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 79. 2.C.2. Producción de ferroaleaciones: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.4.5.6. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Corroborar con datos de aduana empresas importadoras y su actividad.

4.4.6. Producción de aluminio (2.C.3.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.4.7. Producción de magnesio (2.C.4.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.4.8. Producción de plomo (2.C.5.)

4.4.8.1. Descripción de la subcategoría

Existen dos formas de obtener plomo, una es la producción primaria a partir de concentrados de plomo y otra es la producción secundaria a partir de plomo reciclado.

La producción secundaria de plomo refinado consiste en el procesamiento del plomo reciclado con el fin de prepararlo para su reutilización. La gran mayoría de este plomo reciclado proviene de la chatarra de plomo de las baterías ácidas. Las baterías ácidas de plomo, ya sea se trituran con molino de martillo y se introducen en el proceso de fundición con o sin desulfurización, o bien, se funden enteras. Al igual que en el caso de los hornos utilizados para la producción primaria de plomo en bruto, los hornos utilizados para fundir baterías o chatarra de plomo reciclado generan diferentes niveles de emisiones de CO₂ a partir del uso de diferentes tipos y cantidades de agentes reductores. Los agentes reductores primarios son el carbón, el gas natural y el coque metalúrgico, aunque el horno de resistencia eléctrica emplea coque de petróleo.

En Chile, desde 2007 ocurre producción secundaria de plomo, centrada en una sola planta recicladora de acuerdo con información levantada en el contexto de la ley de Responsabilidad extendida al productor (REP), en que se incluyen las baterías ácidas de plomo. Su producción ha sido creciente en el tiempo y se espera que siga aumentando y se sumen nuevos actores por la ley REP.

4.4.8.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Producción de plomo* se utilizó un método de Nivel 2 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* Ecuación 4.9; Capítulo 4; Volumen 3, basado en la materia prima utilizada en el proceso y la aplicación de contenidos de carbón correspondientes reportados por la misma empresa.

4.4.8.2.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad fueron reportados directamente por la única empresa productora, entregando niveles de actividad para todas las materias primas utilizadas entre 2007 y 2018. Estas incluyen agentes reductores y neutralizantes de ácido. Por confidencialidad estos datos no serán reportados.

4.4.8.2.2. Factores de emisión

Los contenidos de carbono de los agentes reductores fueron reportados directamente por la empresa productora. Por confidencialidad estos datos no serán reportados. El contenido de carbono del neutralizador de ácido se estima teóricamente por estequiometría.

4.4.8.3. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de $\pm 18\%$. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 4.23; Capítulo 5; Volumen 3). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 147.

Tabla 147. 2.C.5. Uso de lubricantes: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|---------------------|-----------------|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.C.5. | Producción de plomo | CO ₂ | 10,0% | 10,0% | 15,0% | 15,0% | 18,0% | 18,0% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

4.4.8.4. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos contenidos de carbono y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

4.4.8.5. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.4.8.5.1. Verificación

Se estimó un factor de emisión equivalente por tonelada de plomo producido y se comparó con los valores por defecto. Este es mayor que el valor por defecto para producción secundaria propuesta por las *Directrices del IPCC de 2006 (Tabla 4.21, Capítulo 4, Volumen 3)* en donde recomiendan un factor de 0,2 t CO₂/t plomo, sin embargo, es menor que el valor propuesto para producción ISF en que equivale a 0,59 t CO₂/t plomo.

4.4.8.6. Recálculos

En el INGEI IBA3 no se reportaron emisiones en esta categoría por lo que no se realizaron recálculos.

4.4.8.7. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Verificar origen de materias primas utilizadas, para corroborar contenido de carbono entregado por la empresa.

4.4.9. Producción de cinc (2.C.6.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.4.10. Otros (2.C.7.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.5. Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes (2.D.)

4.5.1. Descripción de la categoría

La categoría *Uso de productos no energéticos de combustible y de solventes* incluye las emisiones de GEI generadas por los primeros usos de los combustibles fósiles como productos con fines primarios, excepto: i) la combustión con fines energéticos, y ii) el uso como sustancia de alimentación a procesos o como agente reductor. Las subcategorías asociadas son las siguientes:

- *2.D.1. Uso de lubricantes.*
- *2.D.2. Uso de cera de parafina.*
- *2.D.3. Uso de solventes.*

En el contexto nacional, esta categoría incluye las emisiones de los procesos productivos siguientes:

- Lubricantes, y
- Ceras.

4.5.2. Tendencia de las emisiones de GEI

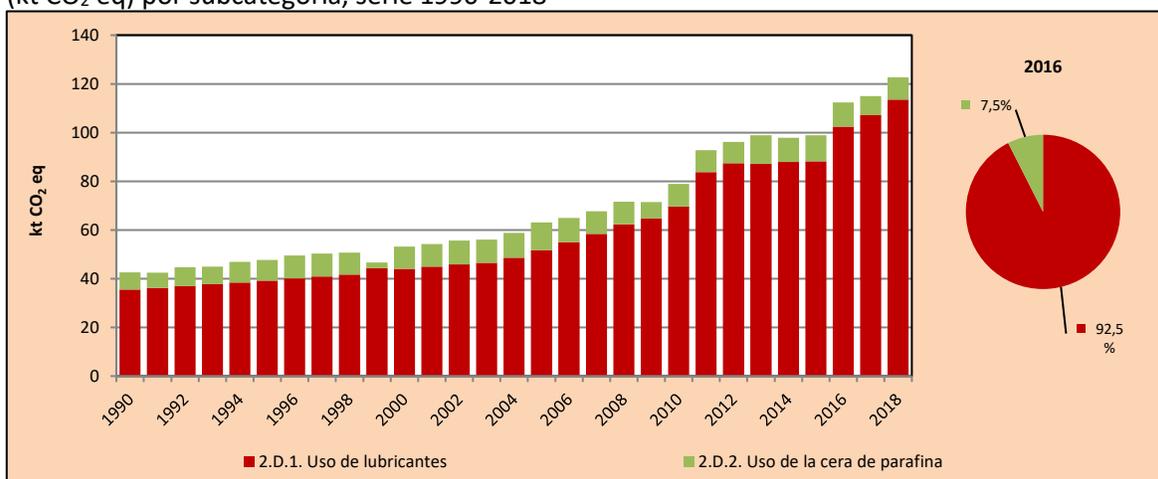
La categoría *Uso de productos no energéticos de combustible* es la menor categoría emisora de GEI del sector IPPU (1,9%). En 2018, sus emisiones de GEI contabilizaron 123 kt CO₂ eq, incrementándose en un 188% desde 1990 y en un 9% desde 2016. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la demanda de lubricantes y, por consiguiente, la importación y producción del mismo (Tabla 148 y Figura 80).

Tabla 148. 2.D. Uso de productos no energéticos de combustible y solvente: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 2.D.1. Uso de lubricantes | 35,5 | 44,0 | 69,6 | 87,2 | 102,4 | 107,2 | 113,6 |
| 2.D.2. Uso de la cera de parafina | 7,1 | 9,1 | 9,3 | 11,7 | 10,0 | 7,8 | 9,2 |
| Total | 42,6 | 53,2 | 78,9 | 98,9 | 112,4 | 115,0 | 122,7 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 80. 2.D. Uso de productos no energéticos de combustible y solvente: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.5.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría se aplicó el método Nivel 1 para todas las subcategorías, usando datos de actividades país específicos desagregados y factores de emisión por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. El uso de solventes derivados del petróleo y del carbón no constituye una fuente de emisión de gases de efecto invernadero, o es, a lo sumo, insignificante de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, siendo solo las emisiones de CO₂ y de GEI indirecto relevantes para esta subcategoría. En la Tabla 149 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 149. 2.D. Uso de productos no energéticos de combustible y solvente: métodos aplicados por subcategoría.

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | | HFC | | PFC | | SF ₆ | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 2.D. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes | T1 | D | | | | | | | | | | |
| 2.D.1. Uso de lubricantes | T1 | D | | | | | | | | | | |
| 2.D.2. Uso de la cera de parafina | T1 | D | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 2.D.3. Uso de solventes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.D.4. Otros (especificar) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.5.4. Uso de lubricantes (2.D.1.)

4.5.4.1. Descripción de la subcategoría

Los lubricantes se producen en las refinerías, por separación del petróleo crudo, o en las plantas petroquímicas. El principal uso de los lubricantes es en motores utilizados en transporte y en aplicaciones industriales.

El consumo de lubricantes en Chile, entre 1990 y 2018, ha sido creciente debido al incremento del parque vehicular.

4.5.4.2. Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría *Uso de lubricantes* es la principal subcategoría emisora dentro de la categoría *Uso de productos no energéticos de combustible y solventes*, representando el 93 % de sus emisiones de GEI. En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 114 kt CO₂ eq incrementándose en un 220 % desde 1990 y en un 11 % desde 2016 (Tabla 148 y Figura 80). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la demanda de lubricantes que en parte está relacionada con el crecimiento del parque vehicular.

4.5.4.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Uso de lubricantes* se utilizó un método de Nivel 1 de acuerdo con las de las *Directrices del IPCC de 2006*, Ecuación 5.2; Capítulo 5; Volumen 3 basado en aplicar un factor de emisión para el CO₂ a los datos de la cantidad de lubricantes que se consumen en el país. El factor de emisión está referido a un factor de oxidación durante el uso (ODU, del inglés *Oxidised During Use*) y el contenido de carbono de los lubricantes.

4.5.4.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad del consumo de lubricantes provienen de un balance entre la producción, las importaciones y exportaciones. El balance para el consumo es el siguiente:

Ecuación 13. 2.D.1. Uso de lubricantes: balance de masa para estimar consumo de lubricantes

$$\text{Consumo} = \text{Producción} + \text{Importación} - \text{Exportación}$$

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Los datos de producción se obtienen de un estudio realizado por el consorcio de aceites en el contexto de la ley de Responsabilidad Extendida al Productor (REP), que proporciona datos de producción entre 2011 y 2015. A partir de estos se estima el consumo con las importaciones y exportaciones para estos años. Finalmente, el consumo se extrapola utilizando como proxy el parque vehicular (Tabla 150).

Tabla 150. 2.D.1. Uso de lubricantes: datos de actividad (TJ), serie 1990-2018

| Año | Producción (TJ) | Imp-Exp (TJ) | Número de vehículos | Consumo (TJ) |
|------|-----------------|--------------|---------------------|--------------|
| 1990 | | | 1.684.214,0 | 2.423,4 |
| 1991 | | | 1.717.507,7 | 2.471,3 |
| 1992 | | | 1.751.737,9 | 2.520,6 |
| 1993 | | | 1.786.921,3 | 2.571,2 |
| 1994 | | | 1.823.075,2 | 2.623,2 |
| 1995 | | | 1.860.218,1 | 2.676,7 |
| 1996 | | | 1.898.369,2 | 2.731,6 |
| 1997 | | | 1.937.548,8 | 2.788,0 |
| 1998 | | | 1.977.778,0 | 2.845,8 |
| 1999 | | | 2.098.848,0 | 3.020,0 |
| 2000 | | | 2.086.003,0 | 3.001,6 |
| 2001 | | | 2.130.547,0 | 3.065,7 |
| 2002 | | | 2.171.472,0 | 3.124,5 |
| 2003 | | | 2.201.996,0 | 3.168,5 |
| 2004 | | | 2.304.640,0 | 3.316,2 |
| 2005 | | | 2.450.901,0 | 3.526,6 |
| 2006 | | | 2.606.247,0 | 3.750,1 |
| 2007 | | | 2.768.543,0 | 3.983,7 |
| 2008 | | | 2.955.295,0 | 4.252,4 |
| 2009 | | | 3.068.201,0 | 4.414,9 |
| 2010 | | | 3.299.432,0 | 4.747,6 |
| 2011 | 3.861,0 | 1.850,8 | 3.571.218,0 | 5.711,9 |
| 2012 | 3.969,3 | 1.989,4 | 3.885.581,0 | 5.958,7 |
| 2013 | 4.043,1 | 1.901,5 | 4.168.980,0 | 5.944,6 |
| 2014 | 4.192,3 | 1.800,1 | 4.468.450,0 | 5.992,4 |
| 2015 | 3.959,9 | 2.056,3 | 4.647.062,0 | 6.016,2 |
| 2016 | | | 4.853.413,0 | 6.983,6 |
| 2017 | | | 5.079.718,0 | 7.309,2 |
| 2018 | | | 5.382.604,0 | 7.745,1 |

Nota: valores en rojo es información tratada

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en INE

4.5.4.3.2. Factores de emisión

El factor de emisión de CO₂ se compone de un factor de contenido de carbono específico multiplicado por el factor ODU. Para esta subcategoría se utilizaron factores por defecto, de acuerdo a las *Directrices del IPCC de 2006*. Los valores usados se muestran en la Tabla 151.

Tabla 151. 2.D.1. Uso de lubricantes: factores de emisión

| Dato | Valor |
|-----------------------------------|-------|
| Contenido de carbono (t C/TJ) (*) | 20,0 |
| Factor ODU (**) | 0,2 |

Fuente: (*) Cuadro 1.3; Capítulo 1; Volumen 2; Directrices del IPCC de 2006 (**) Cuadro 5.2; Capítulo 5; Volumen 3 de las Directrices del IPCC de 2006

4.5.4.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de $\pm 54\%$. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 5.2.3; Capítulo 5; Volumen 3). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 152.

Tabla 152. 2.D.1. Uso de lubricantes: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------|-----------------|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.D.1. | Uso de lubricantes | CO ₂ | 20,0% | 20,0% | 50,1% | 50,1% | 53,9% | 53,9% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Se concluye de la tabla anterior que la mayor fuente de incertidumbre corresponde a la relacionada con los factores de emisión por defecto y, por lo tanto, a la ausencia de factores país específico.

4.5.4.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y para los datos de actividad se utilizó el mismo proxy para extrapolar toda la serie tanto hacia atrás como hacia adelante como se describe en la sección supra 3.5.4.3.

4.5.4.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.5.4.6.1. Verificación

Se verificó el consumo estimado de uso de lubricantes con los datos de importación y exportación restándolos para obtener una producción nacional estimada. El resultado muestra una producción estable para la serie solo desde el 2002 al 2018 ya que los datos anteriores de Aduana tienen un cambio metodológico y presentan datos que salen de la tendencia.

4.5.4.7. Recálculos

4.5.4.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

A causa de la nueva ley de Responsabilidad Extendida al Productor (REP) se levantaron datos de varias industrias incluyendo la producción de lubricantes. En base a esta información levantada por el Consorcio de aceites se mejoraron los datos de producción nacional.

4.5.4.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

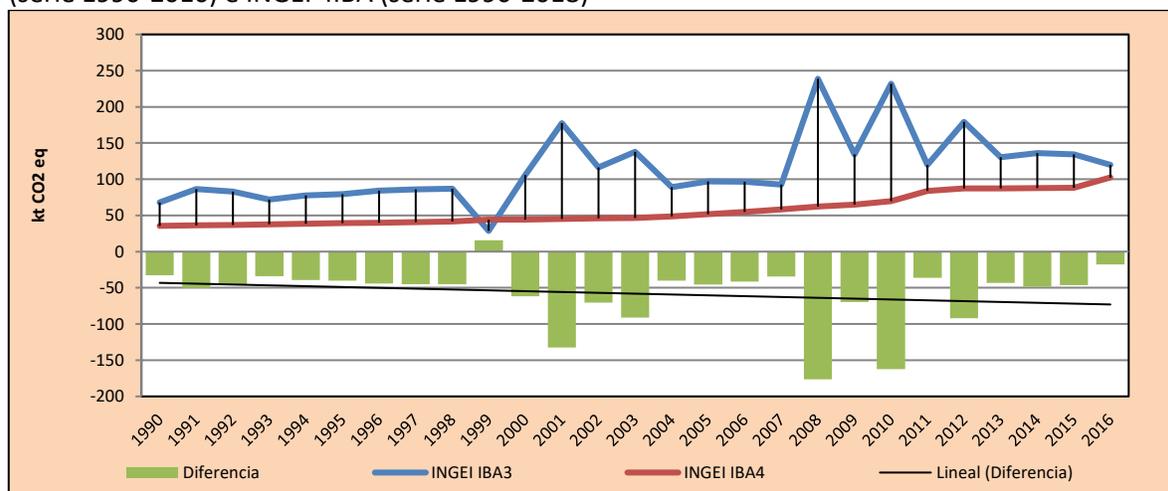
En la Tabla 153 y la Figura 81 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI IBA3). Las diferencias se deben a que se utilizó otra fuente para los datos de actividad. Esto generó una disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 58 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990 y 2016.

Tabla 153. 2.D.1. Uso de lubricantes: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|--------|---------|---------|--------|--------|-------|-------|
| INGEI IBA3 | 68,1 | 105,7 | 231,8 | 130,3 | 119,9 | | |
| INGEI IBA4 | 35,5 | 44,0 | 69,6 | 87,2 | 102,4 | 107,2 | 113,6 |
| Diferencia | - 32,5 | - 61,7 | - 162,1 | - 43,1 | - 17,5 | | |
| Diferencia % | -91,5% | -140,1% | -232,8% | -49,4% | -17,1% | | |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 81. 2.D.1. Uso de lubricantes: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.5.4.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Revisión de datos de aduana para los años 1990-2001 para mejorar la verificación.
- Coordinación con la oficina de economía circular para el levantamiento de datos, en base a la Ley REP

4.5.5. Uso de la cera de parafina (2.D.2.)

4.5.5.1. Descripción de la subcategoría

Las ceras de parafina se utilizan en aplicaciones tales como velas, cajas corrugadas, revestimientos de papel, encolados de placas, producción de alimentos, betunes de brillo, tensoactivos (como los utilizados en los detergentes), entre otros usos.

Entre 1990 y 2018, el consumo se sustenta principalmente en las importaciones, ya que la producción, de acuerdo con la información entregada por el INE, es bastante menor que las importaciones.

4.5.5.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 9 kt CO₂ eq (representando el 7 % de la categoría), incrementándose en un 29 % desde 1990 y disminuyendo en un 8 % desde 2016 (Tabla 148 y Figura 80). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la demanda de cera y, por consiguiente, las importaciones de este.

4.5.5.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Uso de cera de parafina* se utilizó un método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* Ecuación 5.4; Capítulo 5; Volumen 3. El método se basa en aplicar un factor de emisión para el CO₂ a la cantidad de cera de parafina que se consumen en el país. El factor de emisión está referido al factor ODU y al contenido de carbono de la cera de parafina.

4.5.5.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad del consumo de cera provienen de un balance entre la producción, las importaciones y exportaciones. El balance para el consumo es equivalente al de la Ecuación 13, solo que considerando la cera de parafina.

Los datos de producción se obtienen del INE, que proporciona datos para 1996-2000, 2007 y 2015. La ausencia de datos para el resto de la serie se debe a que no todos los productores contestan la encuesta, generando vacíos que deben ser corregidos. Para estimar la producción durante la serie 1990-1995, se promedió la producción durante 1996-1998. La producción de 2000 fue desestimada por considerarse un valor atípico (para 1999 se tiene una producción de 93,7 t mientras que 2000 se tienen 827,9 t). Para los años 2008-2013 se consideró el promedio de la producción de 1999-2007. Para los años 2014, 2016, 2017 y 2018 se consideró la producción de 2015. La importación y exportación de ceras de parafina fue entregada por el Servicio Nacional de Aduanas para toda la serie temporal (Tabla 154).

Tabla 154. 2.D.2. Uso de la cera de parafina: datos de actividad (TJ), serie 1990-2018

| Año | Producción (TJ) | Importación (TJ) | Exportación (TJ) | Consumo (TJ) |
|------|-----------------|------------------|------------------|--------------|
| 1990 | 0,9 | 482,1 | 0,6 | 482,5 |
| 1991 | 0,9 | 424,7 | 1,1 | 424,5 |
| 1992 | 0,9 | 525,0 | 1,6 | 524,3 |
| 1993 | 0,9 | 490,2 | 2,2 | 489,0 |
| 1994 | 0,9 | 579,0 | 5,7 | 574,3 |
| 1995 | 0,9 | 574,0 | 4,5 | 570,5 |
| 1996 | 0,7 | 652,1 | 5,5 | 647,3 |
| 1997 | 1,0 | 651,0 | 9,3 | 642,6 |
| 1998 | 1,1 | 621,6 | 13,8 | 608,9 |
| 1999 | 3,8 | 181,8 | 21,4 | 164,1 |
| 2000 | 6,5 | 630,0 | 14,1 | 622,3 |
| 2001 | 6,5 | 634,6 | 5,4 | 635,7 |
| 2002 | 6,5 | 686,7 | 20,6 | 672,5 |
| 2003 | 6,5 | 684,6 | 36,0 | 655,1 |
| 2004 | 6,5 | 720,7 | 30,1 | 697,0 |
| 2005 | 6,5 | 797,2 | 29,1 | 774,6 |

| | | | | |
|------|-----|-------|------|-------|
| 2006 | 6,5 | 699,6 | 31,6 | 674,4 |
| 2007 | 9,1 | 643,7 | 23,6 | 629,2 |
| 2008 | 6,5 | 643,7 | 22,5 | 627,7 |
| 2009 | 6,5 | 475,5 | 24,3 | 457,7 |
| 2010 | 6,5 | 660,8 | 35,5 | 631,7 |
| 2011 | 6,5 | 636,6 | 28,1 | 614,9 |
| 2012 | 6,5 | 600,2 | 10,2 | 596,4 |
| 2013 | 6,5 | 805,1 | 12,2 | 799,4 |
| 2014 | 2,7 | 685,2 | 6,2 | 681,7 |
| 2015 | 2,7 | 736,0 | 8,1 | 730,5 |
| 2016 | 2,7 | 684,0 | 5,6 | 681,0 |
| 2017 | 2,7 | 534,4 | 7,9 | 529,1 |
| 2018 | 2,7 | 624,9 | 3,5 | 624,0 |

Nota: valores en rojo es información tratada

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.5.5.3.2. Factores de emisión

El factor de emisión de CO₂ se compone de un factor de contenido de carbono específico multiplicado por el factor ODU. Para esta subcategoría se utilizaron factores por defecto, de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. Los valores usados se muestran en la Tabla 155.

Tabla 155. 2.D.2. Uso de la cera de parafina: factores de emisión

| Dato | Valor |
|-----------------------------------|-------|
| Contenido de carbono (t C/TJ) (*) | 20,0 |
| Factor ODU (**) | 0,2 |

Fuente: (*) Cuadro 1.3; Capítulo 1; Volumen 2; Directrices del IPCC 2006 (**) Sección 5.3.2.2.; Capítulo 5; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006.

4.5.5.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de $\pm 102\%$. En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 5.3.3.; Capítulo 5; Volumen 3). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 156.

Tabla 156. 2.D.2. Uso de la cera de parafina: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|----------------------------|-----------------|---|-------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.D.2. | Uso de la cera de parafina | CO ₂ | 20,0% | 20,0% | 100,0% | 100,0% | 102,0% | 102,0% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Se concluye de la tabla anterior que la mayor fuente de incertidumbre corresponde a la relacionada con los factores de emisión por defecto y, por lo tanto, a la ausencia de factores país específico.

4.5.5.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Los datos de actividad debieron ser tratados dado que la información de INE contiene vacío de datos. El tratamiento de los datos se explica en la sección 4.5.5.3.1. *supra*.

4.5.5.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.5.5.6.1. Verificación

Se verificó la coherencia de la serie. La producción de cera muestra un comportamiento no tendencial, debido a la diferencia de empresas que reportan sus datos al INE para cada año.

4.5.5.7. Recálculos

No se realizaron recálculos para esta subcategoría.

4.5.5.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Conformación de mesas de trabajo con el INE para mejorar los datos de producción de cera de parafina.

4.5.6. Uso de solventes (4.D.3.)

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, esta subcategoría debe considerarse aparte y constituye una fuente importante de COVDM. No se consideran emisiones de GEI.

4.5.7. Otros (4.D.4.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.6. Industria electrónica (2.E.)

Esta categoría no ocurre en el país.

4.7. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (2.F.)

4.7.1. Descripción de la categoría

La categoría *Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono* incluye las emisiones de los gases fluorados HFC y, en una medida muy limitada, los PFC que sirven como alternativas a las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO). Las subcategorías incluidas son:

- 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado.
- 2.F.2. Agentes espumantes.

- 2.F.3. Protección contra incendios.
- 2.F.4. Aerosoles.
- 2.F.5. Solventes.

En el contexto nacional, se comenzaron a utilizar gases fluorados a principios de los 90 en aplicaciones de refrigeración, pero tomaron mayor fuerza a partir de 2000 y incorporaron otras aplicaciones. La categoría incluye las emisiones de los usos y aplicaciones siguientes:

- Refrigeración y aire acondicionado.
- Agentes espumantes.
- Protección contra incendios.
- Aerosoles.
- Solventes.

Con respecto al inventario anterior, se presentan mejoras en cuanto a la desagregación de Refrigeración y aire acondicionado por usuario. Esta mejora ha sido posible gracias al trabajo coordinado entre el SNICHILE y la unidad de Ozono de la Oficina de Cambio Climático del MMA.

En cuanto a las emisiones relacionadas con el uso de PFC, estas se agregaron al inventario en base a datos de aduana de importación y exportación, pero son bastante reducidas y esporádicas en el tiempo.

4.7.2. Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono* es la principal categoría emisora de GEI del sector IPPU (58 %). En 2018, sus emisiones de GEI contabilizaron 3.831 kt CO₂ eq, incrementándose en un 2.552 % desde 2000 y en un 29 % desde 2016. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es el consumo de HFC como refrigerante en equipos de refrigeración y aire acondicionado. Las emisiones se generan por fugas del gas HFC que se producen por el uso de estos equipos. Estas fugas dependen de la capacidad instalada o banco que crece cada año lo que provoca una emisión de forma exponencial (Tabla 157 y Figura 82).

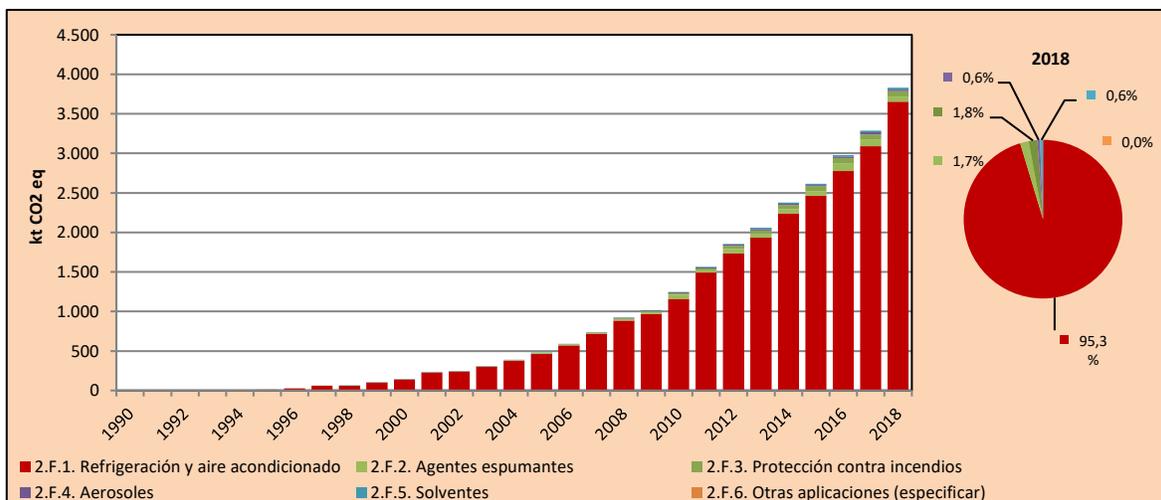
Tabla 157. 2.F. Uso de productos sustitutos que las sustancias que agotan la capa de ozono: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado | 0,0 | 140,0 | 1.154,3 | 1.936,6 | 2.777,7 | 3.089,4 | 3.652,1 |
| 2.F.2. Agentes espumantes | 0,0 | 0,0 | 57,5 | 40,1 | 92,2 | 81,2 | 66,8 |
| 2.F.3. Protección contra incendios | 0,0 | 1,7 | 18,0 | 47,0 | 70,5 | 69,7 | 67,1 |
| 2.F.4. Aerosoles | 0,0 | 0,0 | 13,4 | 18,0 | 22,0 | 28,6 | 21,3 |
| 2.F.5. Solventes | 0,0 | 2,7 | 2,5 | 16,1 | 16,8 | 17,8 | 23,3 |
| 2.F.6. Otras aplicaciones (especificar) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Total | 0,0 | 144,4 | 1.245,8 | 2.057,9 | 2.979,2 | 3.286,8 | 3.830,6 |

NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 82. 2.F. Uso de productos sustitutos que las sustancias que agotan la capa de ozono: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.3. Aspectos metodológicos de la categoría

En cuanto a los aspectos metodológicos, se aplicó el método de Nivel 2a para la subcategoría 2.F.1 *Refrigeración y aire acondicionado*, que consiste en la utilización de factores de emisión por defecto, de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, pero desagregado por tipo de usuario. Se aplicaron métodos de Nivel 1 para todas las subcategorías, usando tanto factores de emisión país específico como por defecto, de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 158).

Tabla 158. 2.F. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono: métodos aplicados por subcategoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | | HFC | | PFC | | SF ₆ | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 2.F. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono | | | | | | | T2a, T1 | D | T1, NO | D, NO | | |
| 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado | | | | | | | T2a | D | T1 | D | | |
| 2.F.2. Agentes espumantes | | | | | | | T2a | D | | | | |
| 2.F.3. Protección contra incendios | | | | | | | T1 | D | NO | NO | | |
| 2.F.4. Aerosoles | | | | | | | T1 | D | | | | |
| 2.F.5. Solventes | | | | | | | T1 | D | T1 | D | | |
| 2.F.6. Otras aplicaciones (especificar) | | | | | | | T1 | D | NO | NO | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

El cálculo de las emisiones para toda la categoría se realizó a través de las planillas Excel de elaboración propia, excepto por 2.F.2 *Agentes espumantes* y 2.F.3 *Protección contra incendios* en que se utilizaron las planillas Excel elaboradas por el IPCC.

Es importante mencionar que los datos de actividad necesarios para estimar las emisiones de todas las subcategorías presentadas en esta categoría fueron obtenidos a partir del informe “Elaboración de Inventario Nacional individualizado de Hidrofluorocarbonos (HFC)” (en adelante “Estudio DICTUC

2019”) solicitado por la Unidad de Ozono del MMA, en el marco de la generación de información para el análisis de los impactos que tendrá la enmienda de Kigali en el país, informe finalizado en diciembre 2019.

4.7.4. Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1.)

4.7.4.1. Descripción de la subcategoría

Los sistemas de refrigeración y aire acondicionado se clasifican de acuerdo con los usuarios dentro de los que se pueden encontrar

- Refrigeración comercial: utilizan sistemas para el almacenamiento y exhibición de alimentos y bebidas en supermercados, tiendas, restaurantes y hoteles.
- Refrigeración doméstica: refrigeradores, congeladores y equipos mixtos.
- Refrigeración industrial: refrigeración de comida y bebidas, agroindustria, pesca, farmacéuticas, petroquímicas, aeropuertos y sistemas de calefacción.
- Transporte refrigerado: camiones, remolques, contenedores y refrigeración sobre barcos
- Aire acondicionado fijo: sistemas *Split* pequeños, aires acondicionados de gran tamaño, enfriadores de agua, bombas de calor. Estos se utilizan en una diversidad de espacios como centros comerciales, oficinas y áreas de atención al cliente, entre otras.
- Aire acondicionado móvil: sistemas de aire en los medios de transporte terrestres.

Todas estas aplicaciones almacenan el gas refrigerante por lo que las emisiones ocurren por fugas durante su uso, y luego en mantenciones los equipos se vuelven a llenar. También ocurren emisiones al final de la vida útil de los equipos en que generalmente el refrigerante remanente es liberado a la atmósfera.

El uso de compuestos fluorados para refrigeración y aire acondicionado es abastecido en un 100 % por importaciones, ya que dichos compuestos no se producen en Chile. A partir del 1990 comenzaron a importarse estos productos en Chile, y su importación ha crecido considerablemente en el tiempo. Las exportaciones, por el contrario, son insignificantes.

Los HFC son un grupo de gases que se utilizan como sustancias puras o como mezclas, y dependiendo del uso se pueden identificar las principales sustancias utilizadas, un resumen sobre las sustancias que se usan actualmente se puede observar en la Tabla 159.

Tabla 159. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: sustancias más utilizadas por aplicación.

| Aplicación | Sub-aplicación | Sustancias más utilizadas |
|---------------|----------------|---|
| Refrigeración | Doméstica | HFC: HFC-134a HCFC: HCFC-22 Otras Alternativas: R-600a, R-290, HFO-1234yf, HFO-1234ze |
| | Comercial | HFC: HFC-134a, R-404A, R-507A HCFC: HCFC-22 |

| Aplicación | Sub-aplicación | Sustancias más utilizadas |
|---------------------------|----------------|--|
| | | Otras Alternativas: R-744, R-290, R-600a, HFO-1234yf, HFO-1234ze |
| | Industrial | HFC: HFC-134a, R-404A, R-407C, R-507A HCFC: HCFC-22 Otras Alternativas: R-744 transcrito, R-744, R-717 |
| | Transporte | HFC: HFC-134a, R-404^a Otras Alternativas: R-448A, R-449A, R-744, R-290, R-513A, R-513B, R-456A |
| Aire Acondicionado | Doméstico | HFC: HFC-134a, R-410A HCFC: HCFC-22 Otras Alternativas: HC-290, HC-1270, R-446A y R-447A |
| | Comercial | HFC: HFC-134a, R-410A HCFC: HCFC-22 Otras alternativas: R-446A, R-447A, R-450A, R-513A, R-451A, R-451B, HFO1234yf, HFO-1234ze y R-744 |
| | Industrial | HFC: HFC-134a, R-407C, R-410A HCFC: HCFC-22 Otras alternativas: R-446A, R-447A, R-450A, R-513A, R-451A, R-451B, HFO1234yf, HFO-1234ze y R-744 |
| | Transporte | HFC: HFC-134a, R-407C Otras Alternativas: HFO-1234yf, HFC-32, R-446A, R-447A, R-744, R-450A y R513A |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA, elaborado en base a estudio DICTUC 2019

Adicionalmente se presenta la composición de las principales mezclas utilizadas en Chile, en base a fichas técnicas levantadas por el Estudio DICTUC 2019.

Tabla 160. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: Composición de las principales mezclas utilizadas en Chile que contienen HFC.

| Mezcla | HFC-125 | HFC-134a | HFC-143a | HFC-32 |
|--------|---------|----------|----------|--------|
| R-404A | 44% | 4% | 52% | - |
| R-407C | 25% | 52% | - | 23% |
| R-410A | 50% | - | - | 50% |
| R-507A | 50% | - | 50% | - |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA, elaborado en base a Estudio DICTUC 2019

4.7.4.2. Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría *Refrigeración y aire acondicionado* es la principal subcategoría emisora dentro de la categoría *Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono*, representando el 95 % de sus emisiones de GEI. En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 3.652 kt CO₂ eq, incrementándose en un 2508 % desde 2000 y en un 32 % desde 2016 (Tabla 157 y Figura 82).

Por aplicación *Refrigeración industrial* fue la principal fuente emisora en 2018 representando un 51 % de la subcategoría. Le sigue *Aire acondicionado móvil* con 18 %, luego *Refrigeración comercial* con 16 %, *Aire acondicionado fijo* con 12 %, y en menor medida *Refrigeración doméstica* (2 %) y *Transporte refrigerado* (2 %) (Tabla 161. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018 Tabla 161 y Figura 83). Esta proporción se ha mantenido en el tiempo, sin embargo, se observa un estancamiento en los últimos años en *Refrigeración comercial* mientras que *refrigeración industrial*, *aire acondicionado móvil* y *fijo* se han acelerado. Esto por un lado tiene relación con una disminución en las nuevas superficies de supermercados construidas, y por el otro con un aumento en la utilización de R507A para aplicaciones industriales de la agroindustria y un aumento del parque vehicular con aire

acondicionado. De todas maneras, otra variable que influye fuertemente es el precio de los HFC en comparación con otras alternativas de refrigerantes, sus capacidades técnicas y la obligatoriedad de dejar de utilizar paulatinamente el HCFC por la implementación del protocolo de Montreal.

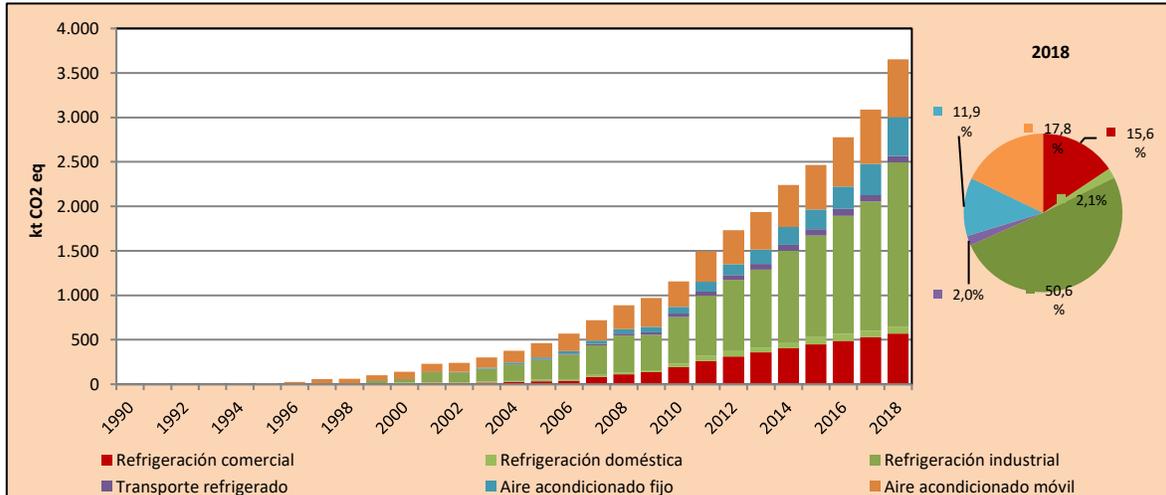
Tabla 161. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------------|------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Refrigeración comercial | 0,0 | 9,3 | 194,3 | 359,8 | 488,2 | 530,4 | 571,0 |
| Refrigeración doméstica | NO | 8,4 | 33,4 | 49,5 | 79,3 | 70,2 | 75,5 |
| Refrigeración industrial | NO | 40,1 | 528,1 | 879,0 | 1.326,3 | 1.452,6 | 1.847,1 |
| Transporte refrigerado | NO | 0,4 | 37,6 | 63,4 | 78,8 | 72,7 | 73,1 |
| Aire acondicionado fijo | NO | 0,9 | 76,6 | 162,7 | 251,0 | 348,6 | 434,0 |
| Aire acondicionado móvil | NO | 80,9 | 284,3 | 422,1 | 554,2 | 614,9 | 651,4 |
| Total | 0,0 | 140,0 | 1.154,3 | 1.936,6 | 2.777,7 | 3.089,4 | 3.652,1 |

NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

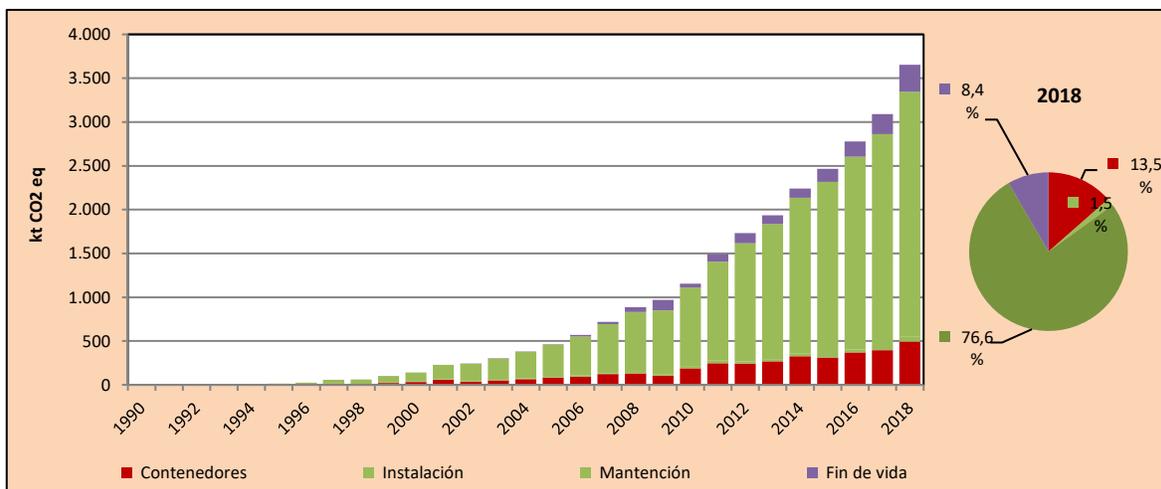
Figura 83. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Dentro de las emisiones por tipo emisión se observa que la principal es por mantenimiento (resultado de fugas por malos sellos, fallas o roturas) con un 77 %. Le siguen con un 13 % las pérdidas por trasvasaje o el remanente que queda en los contenedores, cilindros o latas. Luego con un 8 % lo emitido por eliminación de los equipos al final de su vida útil, la que se espera que siga aumentando en los próximos años si no se toman medidas de recuperación ya que los equipos tienen vidas útiles de entre 10 y 20 años. Finalmente, las fugas que se producen en la instalación de equipos nuevos con un 2 % (Figura 84).

Figura 84. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tipo de emisión, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.4.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de HFC de la subcategoría *Refrigeración y aire acondicionado* se utilizó un método de Nivel 2a de las *Directrices del IPCC de 2006*, que se basa en el conocimiento de la existencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado independientemente de su antigüedad. Luego se define una carga y vida útil de equipo por subaplicación y se consideran las emisiones a lo largo de toda la vida de los equipos. Para lograr coherencia se utilizan los datos de consumo anual por tipo de refrigerante y se deriva que cantidad se utiliza para equipos nuevos y que cantidad se utiliza para mantenimiento del banco existente para cada subaplicación.

Las emisiones con el Nivel 2a se estiman para cada año, cada sustancia o mezcla y cada subaplicación. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 14. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: cálculo de las emisiones basada en las fases del ciclo de vida útil.

$$E_{total,t} = E_{contenedores,t} + E_{instalación,t} + E_{operación,t} + E_{fin\ vida\ útil,t}$$

Fuente: con base en Ecuación 7.10; Capítulo 7; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

- $E_{total,t}$: emisiones totales para cada aplicación de refrigeración y aire acondicionado, para el año t.
- $E_{contenedores,t}$: emisiones relacionadas con la gestión de contenedores de refrigerante.
- $E_{instalación,t}$: emisiones fugitivas cuando se llenan los equipos nuevos por primera vez con una sustancia química o cuando se fabrica un producto de acuerdo con cada aplicación, para el año t.
- $E_{operación,t}$: emisiones por fugas o por difusión durante la fase de uso del producto o equipo (incluido el mantenimiento, para el año t).
- $E_{fin\ vida\ útil,t}$: emisiones cuando el equipo o producto llega al término de su vida útil y es desmantelado y eliminado, para el año t.

Cada emisión se estima de acuerdo con las ecuaciones 7.11, 7.12, 7.13, 7.14; Capítulo 7; Volumen 3; de las Directrices del IPCC de 2006, respectivamente.

4.7.4.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de los gases fluorados usados para refrigeración son elaborados a partir de la información de importación y exportación proporcionados por Aduanas que a su vez fue revisada y refinada en el estudio “Elaboración de Inventario Nacional de Hidrofluorocarbonos (HFC)” solicitado por el MMA y ejecutado por DICTUC en 2017. Adicionalmente se utiliza información de las distintas subaplicaciones para desagregar los consumos de HFC y estimar los bancos. Esta información fue levantada por el estudio “Elaboración de Inventario individualizado Nacional de Hidrofluorocarbonos (HFC)” también solicitados por el MMA y ejecutado por DICTUC el 2019, que a la vez actualiza al 2018, los datos de Aduanas del estudio anterior y agregó los datos entre 1990 y 1999.

A continuación, se detallan los pasos llevados a cabo para obtener los datos de actividad requeridos de acuerdo con la metodología, los que para cada subaplicación son, el HFC en equipos nuevos por año, el banco de HFC en equipos cada año, el consumo de sustancias para mantención del banco y carga de equipos nuevos y el HFC en equipos que cumplen su vida útil. Mayor detalle sobre estas estimaciones se pueden encontrar en los estudios mencionados de MMA 2017 y 2019.

Primero se clasifican los datos de aduana de importación y exportación por sustancia a granel (puras y mezclas) por año y también los equipos que entran al país con HFC los que incluyen refrigeradores, automóviles y equipos de aire acondicionado. Estos datos de actividad se pueden encontrar en el Anexo 07.02. Cabe destacar que no existe producción ni eliminación de HFC a nivel nacional por lo que el consumo se reduce a la siguiente ecuación:

Ecuación 15. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: balance de masa para la estimación de consumo de HFC

$$\text{Consumo} = \text{Importación} - \text{Exportación}$$

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Luego se utiliza la siguiente información por subaplicación para la estimación del banco y del banco entrante por año, los resultados de cada uno se encuentran en el Anexo 07.02.:

Refrigeración comercial: se distinguen dos clases, equipos de refrigeración autocontenidos y sistemas in-situ (principalmente supermercados).

- Para los equipos de refrigeración se consideraron los datos de aduana de importación y exportación de estos. Y en base a fichas técnicas se asignó la cantidad y tipo de refrigerante por litro de capacidad del equipo.
- Para los sistemas in situ se consideró la superficie en m² de hipermercados, supermercados y conveniencia construidos cada año desde 2003 de acuerdo con datos del INE Tabla 162. Adicionalmente de acuerdo con el estudio de ATS “ELABORACIÓN DE UN INVENTARIO NACIONAL INDIVIDUALIZADO DE HFC Y SUS ALTERNATIVAS, EN LOS SECTORES DE AIRE ACONDICIONADO MÓVIL, TRANSPORTE REFRIGERADO Y SUPERMERCADOS” junio de 2020, se consideran 0,33 kg refrigerante/m² de la superficie refrigerada; y un 0,2416 m² de la superficie refrigerada/m² superficie construida. Adicionalmente se considera que

anualmente un 4,9 % de la superficie existente cambian su sistema de refrigeración. Por último, se considera la siguiente proporción por tipo de refrigerante en base a entrevistas con expertos (Tabla 163).

Tabla 162. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: Nueva superficie construida de supermercados (m²) de acuerdo con datos del INE, serie 2003 - 2018

| Año | Nueva superficie (m ²) | Superficie acumulada (m ²) |
|------|------------------------------------|--|
| 2003 | 184.216 | 1.280.142 |
| 2004 | 152.782 | 1.432.924 |
| 2005 | 128.604 | 1.561.528 |
| 2006 | 113.968 | 1.675.496 |
| 2007 | 210.200 | 1.885.696 |
| 2008 | 155.409 | 2.041.105 |
| 2009 | 114.221 | 2.155.326 |
| 2010 | 268.171 | 2.423.497 |
| 2011 | 298.798 | 2.722.295 |
| 2012 | 203.197 | 2.925.492 |
| 2013 | 203.000 | 3.128.492 |
| 2014 | 167.899 | 3.296.391 |
| 2015 | 142.116 | 3.438.507 |
| 2016 | 75.476 | 3.513.983 |
| 2017 | 129.629 | 3.643.612 |
| 2018 | 85.732 | 3.729.344 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Tabla 163. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: Proporción por tipo de refrigerante para nueva superficie con refrigeración comercial.

| Período | No HFC | R-404A | R-507A |
|------------|--------|--------|--------|
| <2004 | 100% | | |
| 2004-2006 | 81% | 9% | |
| 2007-2009 | 22% | 68% | 10% |
| 2010- 2013 | 8% | 11% | 81% |
| 2014-2016 | | 4% | 96% |
| >2016 | 2%* | | 98% |

(*) Nuevas tecnologías basadas en hidrocarburos.

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Refrigeración doméstica: Se considera la importación menos la exportación de refrigeradores como equipos entrantes al banco con datos de Aduana desde 1991. Luego se clasifican por tipo de acuerdo con su capacidad y en base a fichas técnicas se asigna una cantidad y tipo de refrigerante por litro de capacidad del equipo. Adicionalmente se levantaron datos de producción nacional entre 2008 y 2015 que utiliza HFC134a. Se relacionó lo utilizado en la producción local con el HFC134a importado a granel, observándose una tendencia a la disminución con un 7 % en 2015 y un 25 % en 2008. Para extrapolar se mantuvo el porcentaje de 2015 para 2016 a 2018 y del 2008 para 1991 a 2007.

Refrigeración industrial: De acuerdo a entrevistas a expertos del sector y la revisión de estudios como "Introduction of zero or low global warming potential refrigerants in food

processing and exports (fruits and vegetables) in Chile (Project CTCN/UNIDO 120444)" (Chilealimentos, 2017), se obtiene que las principales sustancias utilizadas corresponden a amoníaco, R-22, y en menor proporción refrigerantes HFC como el R-507A y R-404a, y en una fracción menor HFC134a. Sin embargo, no se logró levantar información del sector para estimar el tamaño del banco. Para estimar el banco entrante cada año se realizó un balance de masa para R-507A, R-404A y HFC134a. Esto se realizó ya que se conocen los bancos de sus otros usos y se consideran factores de emisión por defecto para estimar lo utilizado en mantención. Luego para estimar en esta subaplicación cuánto corresponde a nuevo banco y cuánto a mantención se hizo una optimización, usando el factor de emisión por defecto.

Transporte refrigerado: Estimado en base a datos de importación y exportación de equipos de este tipo de aduana (sub-partida arancelaria 8418.6920). Estos equipos no entran con carga por lo que no se consideran en la estimación de cantidad de sustancia entrante. En base a información técnica se caracteriza el tipo de refrigerante y la carga promedio por equipo (Tabla 164).

Tabla 164. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: Parámetros para la estimación de los equipos de transporte refrigerado

| Refrigerante | HFC-134a | R-404A |
|--|----------|--------|
| Peso Promedio [kg/equipo] | 50 | 200 |
| Carga Promedio [kg de HFC/equipo] | 1,41 | 2,7 |

Fuente: Estudio DICTUC 2019 en base a modelos de partida arancelaria 84.18

Aire acondicionado fijo: Se consideraron los equipos de aire acondicionado importados y los sistemas de climatización instalados in situ.

- Para los equipos de aire acondicionado se consideraron los datos de aduana de importación y exportación de las partidas arancelarias 8415.10XX, 8415.81XX y 8415.82XX. En base a fichas técnicas se asignó la cantidad y tipo de refrigerante por litro de capacidad del equipo.
- Los sistemas de climatización incluyen hospitales, hoteles, oficinas y centros comerciales. De acuerdo con lo expresado por expertos del sector las principales sustancias utilizadas son R-410A, R-407C y HFC-134a. Los dos primeros se utilizan solo en climatización por lo que se hace un balance de masa considerando el uso a granel para mantención de los equipos con una tasa de fuga por defecto y el resto para instalación de sistemas. En el caso del HFC-134a se hace una estimación del banco al 2018 en base a entrevistas e información sobre superficies de establecimientos hospitalarios, centros comerciales, hoteles, farmacias y aeropuertos. Luego para completar la serie temporal se supone un crecimiento del uso de HFC-134a igual que en los equipos de climatización.

Aire acondicionado móvil: Se considera el aire acondicionado instalado en el país en vehículos en base a las importaciones de equipos para ser instalados (partida 8415.2000). Se observa un alza continua hasta el año 2007 y luego un descenso lo que se explica, en un comienzo, a la crisis económica de 2008, y luego desde 2010 al aumento de vehículos importados con el aire acondicionado incluido de fábrica. También se considera gas refrigerante instalado en el metro, reportado por la misma empresa. Por otro lado, se considera el refrigerante utilizado para mantención de los vehículos con aire acondicionado,

lo que se estima en base a venta de vehículos de ANAC (Asociación Nacional Automotriz de Chile) que cuenta con el detalle de vehículos vendidos anualmente con y sin aire acondicionado. Cabe destacar que todo el aire acondicionado móvil utiliza HFC-134a y que la carga de refrigerante por vehículo por año de fabricación se obtiene de (BEHR SERVICE, 2016) y va desde los 950 gr en 1990 estabilizándose en aproximadamente 611 gr desde 2008.

Para estimar el banco para cada sustancia en cada subaplicación se utiliza la siguiente ecuación general.

Ecuación 16. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: Ecuación general para la construcción recursiva de un banco

$$B_t = (B_{t-1} + N_t) - N_{t-vu}$$

Fuente: con base en Ecuación 7.17; Capítulo 7; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

Dónde

B_t : Es el banco en el año t , estimada a partir de la capacidad instalada, medido en [kg]

N_t : Carga entrante neta (diferencia entre importaciones + producción + recambio⁶⁶ y exportaciones + destrucción + emisiones) en el año t , medido en [kg]

vu : Vida útil del producto, medido en [años]

La vida útil es un parámetro clave para estimar los bancos. En la Tabla 165 se resume la vida útil media considerada para cada uno de los bancos según subaplicación, y su comparación con el rango presentado en el Cuadro 7.9; Capítulo 7; Volumen 3; de las *Directrices del IPCC de 2006*. Los valores utilizados se seleccionaron de acuerdo con entrevistas con actores del mercado de cada subaplicación. Por otra parte, en Chile no existen sistemas de destrucción de sustancias HFC.

Tabla 165 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: Vida útil media en equipos o productos que forman banco, por subaplicación

| Aplicación | Sub-aplicación | Vida útil considerada | Rango Vida útil según (IPCC, 2006) |
|--------------------|----------------|----------------------------------|---|
| Refrigeración | Doméstica | 15 | 12 - 20 |
| | Comercial | Equipos: 12 Instalaciones: 12 | Equipos: 10 - 15 Instalaciones: 7-15 |
| | Industrial | 20 | 15 - 30 |
| | Transporte | 10 | 6 - 10 |
| Aire Acondicionado | Estacionario | 15 | 10 - 20 |
| | Móvil | 12 | 9 - 16 |

Fuente: (GreenLab-Dictuc, 2017)

Los PFC se clasificaron en las distintas subaplicaciones de acuerdo con lo indicado en la encuesta "SURVEY ODS ON ODS ALTERNATIVES (HFCs and others)" del 2017 de la Unidad de Ozono del MMA. El PFC-218 a granel se consideró como solvente; mientras que el Isceon 89 que contiene PFC-218, el R-508 que contiene PFC-116 y el PFC-14 se incluyeron en refrigeración industrial. Todos presentan entradas por aduana de bajo volumen y esporádicas, por lo que se consideró que se utilizaron como

⁶⁶ En el caso de sistemas de refrigeración o aire acondicionado, también se considera aquellos sistemas que hacen un recambio de refrigerante desde no-HFC a HFC.

pruebas, cargándose a equipos existentes y liberándose a la atmósfera por pérdidas en la etapa de operación.

4.7.4.3.2. Factores de emisión

Para los factores de emisión se seleccionaron factores dentro del rango recomendado por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 7.5.2.1.; Capítulo 7; Volumen 3), pero considerando información levantada nacionalmente de las distintas subaplicaciones en el estudio “Elaboración de Inventario individualizado Nacional de Hidrofluorocarbonos (HFC)” de DICTUC del 2019.

Por una parte, la falta de normativa obligatoria respecto de la forma de instalación y mantención hacen presumir que las emisiones del sector comercial tanto para climatización como para refrigeración están en la parte alta del rango presentado por el IPCC. Para aire acondicionado móvil se considera también un valor alto ya que en Chile las emisiones no ocurrirían sólo por fallas, sino que sería una práctica común el cambio del refrigerante cada cierto tiempo.

La refrigeración industrial se supone una tasa de 20%, considerando las tasas de mantención derivables del estudio desarrollado por Chile Alimentos (2017).

Respecto a los equipos de climatización, se supone una tasa de 4% para equipos unitarios y de 6% para sistemas centralizados finalizado *in-situ*. Estos valores se encuentran dentro del rango propuesto por el IPCC, y en la parte alta de los valores propuestos por el TEAP. Estos basados en la falta de regulación que fuerce una instalación y/o mantención que reduzca las emisiones por fugas.

Para las subaplicaciones sin información se utilizó el valor más alto del rango de siguiendo la lógica de lo que ocurre en las otras subaplicaciones. Este criterio se aplicó además al factor de emisión de instalación para todas las subaplicaciones. Un resumen de los factores de emisión seleccionados se observa en la Tabla 166.

Tabla 166. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: Resumen de los factores de emisión según subaplicación tipo banco

| Aplicación | Sub-aplicación | Factor de Emisión Anual | Factor de Emisión instalación |
|--------------------|----------------|--|----------------------------------|
| Refrigeración | Doméstica | 0,5% | 1% |
| | Comercial | Equipos: 15% Instalaciones: 35% | Equipos: 3% Instalaciones: 3% |
| | Industrial | 20% | 3% |
| | Transporte | 50% | 1% |
| Aire Acondicionado | Estacionario | Equipos unitarios: 4% Instalaciones: 6% | 1% |
| | Móvil | 20% | 0,5% |

Fuente: Elaboración propia en base a lo establecido por (IPCC, 2006; TEAP; UNEP, 2014, MMA 2019)

Adicionalmente para la emisión relacionada con el manejo de contenedores de refrigerantes se consideró un factor de emisión de 10%, de acuerdo con lo recomendado en las *Directrices del IPCC de 2006* (página 7.49, Sección 7.5.2.1.; Capítulo 7; Volumen 3).

Finalmente se destaca que la recuperación al final de la vida útil de los equipos se considera nula.

4.7.4.4. Incertidumbre

La incertidumbre para esta subcategoría se estimó para todas las subaplicaciones de manera agrupada ya que todas utilizan la misma fuente de factores de emisión y comparten la principal fuente de datos de actividad. Adicionalmente la estimación de algunas subaplicaciones dependen de la estimación de las otras.

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de -61 % + 52 % disminuyendo significativamente desde el inventario anterior en que fue de -152 % y +180 %. Esto es debido a que se desagregó la categoría por subaplicación, disminuyendo la variabilidad de los factores de emisión. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.3.2.; Capítulo 2; Volumen 3 y cuadro 7.9; Capítulo 7; Volumen 3). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 167.

Tabla 167. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|------------------------------------|-----|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.F.1. | Refrigeración y aire acondicionado | HFC | 50,0% | 50,0% | 35,0% | 14,7% | 61,0% | 52,1% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

4.7.4.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Se debieron aplicar algunas correcciones a los datos de actividad las que se describen en la sección 3.7.4.3.1. *supra*.

4.7.4.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.7.4.6.1. Verificación

No se realizaron verificaciones además de comparar con la estimación del INGEI 3IBA en que se utilizó la metodología de nivel 1.

4.7.4.7. Recálculos

4.7.4.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para conocer mejor a los consumidores de HFC a nivel nacional, la Unidad de Ozono del MMA elaboró el estudio "Elaboración de Inventario Nacional Individualizado de Hidrofluorocarbonos (HFC)" del 2019, en donde se refinan y actualizaron los datos ya levantados en el informe anterior "Elaboración de Inventario Nacional de Hidrofluorocarbonos (HFC)" del 2017, incorporando información adicional sobre el mercado y los usuarios de HFC, logrando caracterizar los bancos de las todas las subaplicaciones que ocurren a nivel nacional.

4.7.4.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

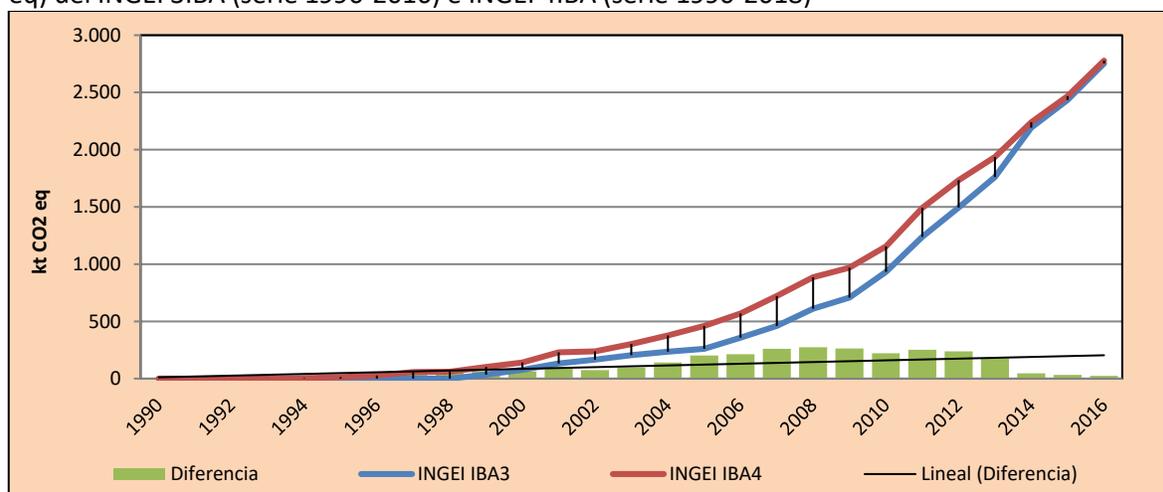
En la Tabla 168 y Figura 85 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI 3IBA). El cambio en los factores de emisión y refinamiento de datos de actividad generó un aumento de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 108 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2016 con un máximo de 276 kt CO₂ eq en 2008.

Tabla 168. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|--------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| INGEI IBA3 | NO | 77,7 | 931,8 | 1.760,3 | 2.753,2 | | |
| INGEI IBA4 | 0,0 | 140,0 | 1.154,3 | 1.936,6 | 2.777,7 | 3.089,4 | 3.652,1 |
| Diferencia | 0,0 | 62,4 | 222,5 | 176,4 | 24,5 | | |
| Diferencia % | 100,0% | 44,5% | 19,3% | 9,1% | 0,9% | | |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 85. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.4.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Ajustar banco restando las perdidas por instalación.
- Ajustar datos con información levantada en estudio de supermercados, transporte refrigerado y aire acondicionado móvil, y otra información pertinente levantada por con la sección de Ozono del MMA.

4.7.5. Agentes espumantes (2.F.2.)

4.7.5.1. Descripción de la subcategoría

Los HFC se están empleando cada vez más para reemplazar los CFC y HCFC en las espumas y, en particular, en las aplicaciones de aislantes. Los compuestos que se están usando incluyen HFC-245fa, HFC-365mfc, HFC-227ea, HFC-134a y HFC-152a.

A nivel nacional los HFC son utilizados para la fabricación de espumas rígidas de poliuretano. El primer gas utilizado es el HFC 134a, mientras que a partir de 2007 se utilizó HFC-365mfc y la mezcla HFC-365mfc/HFC-227ea. El uso de estas sustancias sería como alternativas al uso de HCFC-141b, el cual es el agente espumante que tradicionalmente se ha utilizado en el país.

4.7.5.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 67 kt CO₂ eq (representando un 1,7 % de las emisiones de GEI de la categoría), aumentando un en un 66 % desde 2013 (Tabla 157 y Figura 82). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la importación de polioles con HFC-365mfc y HFC-227ea.

4.7.5.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Agentes espumantes* se utilizó el método de Nivel 2a de las *Directrices del IPCC de 2006*; Ecuación 7.7; Capítulo 7; Volumen 3, basado en la multiplicación del consumo neto por subaplicación por el factor de emisión correspondiente, de acuerdo con la lógica de emisiones reales. Adicionalmente se incluye un factor debido a las emisiones de los bancos de gases, que intenta dar cuenta del retardo entre el consumo y las emisiones. Lo anterior queda representado por la ecuación siguiente:

4.7.5.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de los gases fluorados usados para refrigeración son elaborados a partir de la información de importación y exportación proporcionados por Aduanas que a su vez fue revisada y refinada en el estudio "Elaboración de Inventario Nacional Individualizado de Hidrofluorocarbonos (HFC)" del 2019. Cabe destacarse que en esta actualización se consideró el HFC contenido en polioles formulados a diferencia del inventario anterior

Luego con estos datos se realiza un balance para el consumo con la Ecuación 15, considerando los valores de agentes espumantes. Se obtuvieron los siguientes consumos:

Tabla 169. 2.F.2. Agentes espumantes: consumo neto de gases fluorados (kg de HFC), serie 2003 - 2018.

| Año | HFC-134a | HFC-227ea | HFC-365mfc | HFC227ea poliol | HFC365mfc poliol |
|------|----------|-----------|------------|-----------------|------------------|
| 2003 | 41,0 | NO | NO | NO | NO |
| 2004 | 19.440,0 | NO | NO | NO | NO |
| 2005 | 56.700,0 | NO | NO | NO | NO |
| 2006 | 38.184,0 | NO | NO | NO | NO |
| 2007 | 11.340,0 | 1,0 | 22,0 | 954,1 | 13.221,1 |
| 2008 | NO | NO | 975,0 | 6.820,1 | 94.507,1 |
| 2009 | NO | NO | 960,0 | 8.623,7 | 119.499,2 |
| 2010 | NO | NO | 960,0 | 26.824,7 | 371.714,0 |
| 2011 | NO | NO | 1.920,0 | 10.048,7 | 139.246,8 |
| 2012 | NO | NO | 0,0 | 25.005,8 | 346.508,3 |
| 2013 | NO | NO | 40.320,0 | 12.033,2 | 166.745,9 |
| 2014 | NO | NO | 19.200,0 | 18.735,6 | 259.622,0 |
| 2015 | NO | 1.344,0 | 94.656,0 | 15.220,1 | 210.907,1 |
| 2016 | NO | 672,0 | 125.568,0 | 29.674,4 | 411.202,4 |

| Año | HFC-134a | HFC-227ea | HFC-365mfc | HFC227ea poliol | HFC365mfc poliol |
|------|----------|-----------|------------|-----------------|------------------|
| 2017 | NO | 2.268,0 | 31.092,0 | 26.737,9 | 370.510,9 |
| 2018 | NO | 638,4 | 8.481,6 | 19.323,2 | 267.763,7 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Para desagregar entre subaplicaciones se utilizó un estudio solicitado por la Unidad de Ozono del MMA en el contexto de la fase 2 del “Plan de Gestión para la Eliminación de HCFC en Chile” en que se estimaron los usos de agentes espumantes para datos entre 2012 y 2014. Se consideró la misma proporción para toda la serie, un 39,1 % de los agentes espumantes se utilizan como spray para poliuretano y el 60,9 % restante como panel discontinuo de poliuretano.

Para la vida útil de se consideró el valor por defecto, de 50 años para ambas subaplicaciones. Sin embargo, como los HFC en agentes espumantes se comenzaron a utilizar en 2003, aún no ocurren emisiones por desmantelamiento.

4.7.5.3.2. Factores de emisión

Se utilizaron factores de emisión por defecto para cada subaplicación de acuerdo con lo recomendado por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 7.7, Sección 7.4.2.2.; Capítulo 7; Volumen 3).

Tabla 170. 2.F.2. Agentes espumantes: Factores de emisión por subaplicación

| Subaplicación | Pérdidas en el primer año (%) | Pérdidas anuales del banco (%) |
|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Panel discontinuo de poliuretano. | 12 | 0,5 |
| Spray para poliuretano | 15 | 1,5 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA en base a *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 7.7, Sección 7.4.2.2.; Capítulo 7; Volumen 3)

4.7.5.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de 88 % y +187 %. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión. Para los datos de actividad se optó por una incertidumbre del 50 %, ante la ausencia de mejor información por parte de Aduanas, al igual que para la subcategoría Refrigeración y aire acondicionado. Para los factores de emisión tampoco se contaba con valores por defecto por lo que se utilizaron los valores por defecto de la subcategoría Protección contra incendios combinada con la incertidumbre del fin de vida útil. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 171.

Tabla 171. 2.F.2. Agentes espumantes: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------|-----|---|-------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.F.2. | Agentes espumantes | HFC | 50,0% | 50,0% | 72,1% | 180,3% | 87,7% | 187,1% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Se concluye de la tabla anterior que la mayor fuente de incertidumbre corresponde a la relacionada con los factores de emisión.

4.7.5.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

4.7.5.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.7.5.6.1. Verificación

No se realizaron mayores actividades para la verificación de las emisiones.

4.7.5.7. Recálculos

4.7.5.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para conocer mejor a los consumidores de HFC a nivel nacional, la Unidad de Ozono del MMA elaboró el estudio “Elaboración de Inventario Nacional Individualizado de Hidrofluorocarbonos (HFC)” del 2019, en donde se refinan y actualizaron los datos ya levantados en el informe anterior “Elaboración de Inventario Nacional de Hidrofluorocarbonos (HFC)” del 2017, incorporando información adicional sobre la entrada al país de polioles formulados que contienen HFC. Adicionalmente se consultó con la Unidad de Ozono del MMA por las subaplicaciones de agentes espumantes con HFC utilizados en el país y se logró estimar con factores de emisión específicos por subaplicación.

4.7.5.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

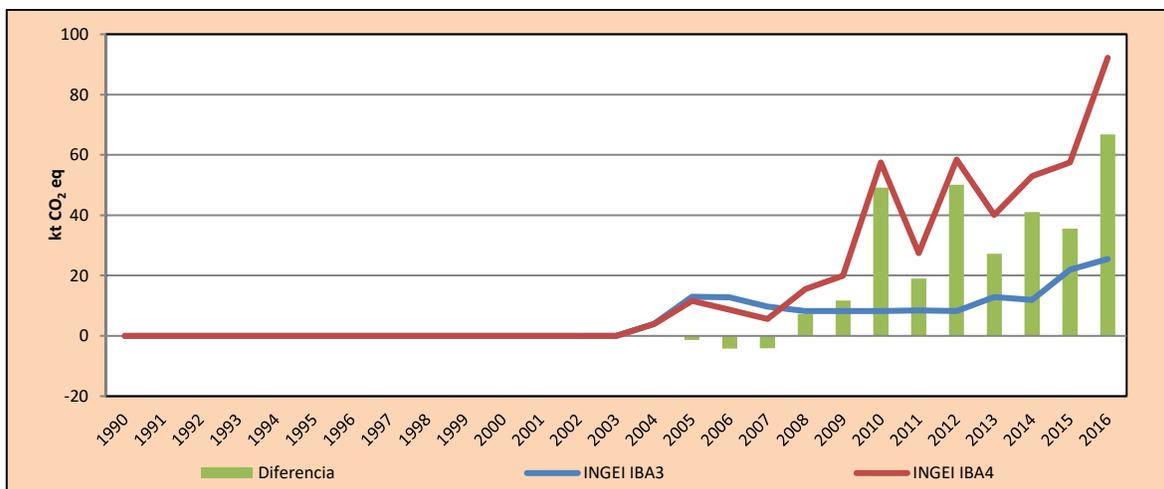
En la Tabla 168 y Figura 85 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI 3IBA). El cambio en los factores de emisión y refinamiento de datos de actividad generó un aumento de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 19 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2016 con un máximo de 60 kt CO₂ eq en 2016.

Tabla 172. 2.F.2. Agentes espumantes: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|------|------|-------|-------|-------|------|------|
| INGEI IBA3 | - | - | 8,3 | 12,9 | 25,5 | | |
| INGEI IBA4 | - | - | 57,5 | 40,1 | 92,2 | 81,2 | 66,8 |
| Diferencia | - | - | 49,2 | 27,2 | 66,7 | | |
| Diferencia % | | | 85,6% | 67,8% | 72,4% | | |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 86. 2.F.2. Agentes espumantes: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.5.8. Plan de mejoramiento

No se esperan mejoras para esta subcategoría

4.7.6. Protección contra incendios (2.F.3.)

4.7.6.1. Descripción de la subcategoría

Hay dos tipos generales de equipos contra incendios que usan los HFC y PFC para reemplazar parcialmente los halones: los equipos portátiles (de chorro corriente) y los equipos fijos (de anegación). Los HFC y PFC se utilizan como principal sustituto de los halones en los equipos de anegación. Sin embargo, el uso de estos gases en la protección contra incendios no es masivo debido a sus costos.

El uso de compuestos fluorados para protección contra incendios de Chile es abastecido en un 100 % por importaciones, ya que dichos compuestos no se producen en Chile. La principal aplicación de los HFC en productos de extinción del fuego es en la protección de servidores y sistemas electrónicos. En el rubro de la minería los sistemas de extinción de incendio por anegamiento son exigidos por protocolos de seguridad. Por otro lado, y debido al costo de la inversión, en otros rubros con menor riesgo se emplean sistemas de detección de humo. Los productos que contienen HFC en su composición son Ecaro-25 y FM-200, utilizados en sistema de extinción de incendios en servidores y sistemas electrónicos por medio de anegamiento.

4.7.6.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 67 kt CO₂ eq (representando un 1,8 % de las emisiones de GEI de la categoría), incrementándose en un 3.957 % desde 2000 y disminuyendo en un 28 % desde 2016 (Tabla 157 y Figura 82). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales son las importaciones que se ven afectadas por el mercado.

4.7.6.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Protección contra incendios* se utilizó el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*; Ecuación 7.17; Capítulo 7; Volumen 3, basado en la multiplicación del consumo neto por aplicación por el factor de emisión correspondiente, de acuerdo con la lógica de emisiones reales. Adicionalmente se incluye un factor debido a las emisiones de los bancos de gases, que intenta dar cuenta del retardo entre el consumo y las emisiones.

4.7.6.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de los gases fluorados usados para extinción de fuego son elaborados a partir de la información de importación y exportación proporcionados por Aduanas que a su vez fue revisada y refinada en el estudio “Elaboración de Inventario Nacional Individualizado de Hidrofluorocarbonos (HFC)” del 2019. El balance para el consumo es el siguiente:

Ecuación 17. 2.F.3. Protección contra incendios: balance de masa para la estimación de consumo de HFC y PFC

$$Banco_t = \sum_{i=t0}^t (Importación_i - Exportación_i - Emisiones_{i-1}) - RRL_t$$

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en Ecuación 7.17; Capítulo 7; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- Emisiones: emisiones totales de cada gas fluorado para la aplicación de protección contra incendios.
- Banco_i: banco total del gas fluorado *i*.
- RRL_i : Recuperación liberación o pérdida, toneladas de gas en el año *t*.

Se debieron aplicar algunas correcciones a los consumos (importación – exportación) al encontrarse que, para algunos años, la exportación de ciertos gases superaba a la importación. Este hecho parece no seguir el mercado nacional, dado que no se produce ningún tipo de HFC en el país. Para corregir los datos al estimar el banco entrante se consideró el consumo del año *t*, promediando con el año siguiente y el año anterior. Los datos de consumo utilizados se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 173. 2.F.3. Protección contra incendios: Datos de actividad, consumo de HFC (kg) por año serie 1997-2018.

| Año | HFC-125 | HFC-227ea | HFC-23 | HFC-236fa |
|------|---------|-----------|--------|-----------|
| 1997 | - | 599 | - | - |
| 1998 | - | 2.905 | - | - |
| 1999 | - | 3.892 | - | - |
| 2000 | - | 7.731 | - | - |
| 2001 | - | 10.804 | - | - |
| 2002 | - | 12.342 | - | 81 |
| 2003 | - | 7.431 | - | - |
| 2004 | 896 | 6.758 | - | - |
| 2005 | (344) | 8.636 | - | - |
| 2006 | 1.292 | 11.984 | - | - |
| 2007 | 3.676 | 11.736 | - | - |
| 2008 | 3.712 | 14.814 | - | - |
| 2009 | 6.029 | 21.649 | - | - |
| 2010 | 2.367 | 22.335 | - | - |

| Año | HFC-125 | HFC-227ea | HFC-23 | HFC-236fa |
|------|---------|-----------|--------|-----------|
| 2011 | 3.273 | 46.970 | - | - |
| 2012 | 3.030 | 42.780 | - | - |
| 2013 | 1.100 | 20.115 | - | - |
| 2014 | 4.414 | 28.356 | - | 27 |
| 2015 | 6.075 | 35.616 | 99 | - |
| 2016 | 6.004 | 50.292 | - | - |
| 2017 | 2.208 | 31.659 | - | - |
| 2018 | 885 | 31.278 | - | - |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.6.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión considerados son 3,2 % para anegación y 4 % para extintores de acuerdo con lo recomendado por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 7.6.2.2.; Capítulo 7; Volumen 3), y a lo levantado en el estudio “Elaboración de Inventario Nacional Individualizado de Hidrofluorocarbonos (HFC)” del 2019.

Para la vida útil se consideró para la extinción de incendios por medio de sistemas de anegación 15 años de acuerdo con el valor por defecto recomendado por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 7.6.2.2.; Capítulo 7; Volumen 3), mientras que para los extintores se considera una vida útil media de 5 años basado en el tiempo de expiración típico de este tipo de productos.

Adicionalmente se asume que no existe destrucción de los gases al final de la vida útil.

4.7.6.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de -78 % y +112 %. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión. Para los datos de actividad se optó por una incertidumbre del ± 50 %, ante la ausencia de mejor información por parte de Aduanas, al igual que para la subcategoría *Refrigeración y aire acondicionado*. En el caso del factor de emisión, se decidió por una incertidumbre del -60 % y +100 %, de acuerdo con lo recomendado por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 7.6.2.2.; Capítulo 7; Volumen 3). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 174.

Tabla 174. 2.F.3. Protección contra incendios: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|-----------------------------|-----|---|-------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.F.3. | Protección contra incendios | HFC | 50,0% | 50,0% | 60,0% | 100,0% | 78,1% | 111,8% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Se concluye de la tabla anterior que la mayor fuente de incertidumbre corresponde a la relacionada con los factores de emisión.

4.7.6.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2016 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Se debieron aplicar algunas correcciones a los datos de actividad las que se describen en la sección 3.7.6.3.1. *supra*.

4.7.6.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.7.6.6.1. Verificación

No se realizaron mayores actividades para la verificación de las emisiones.

4.7.6.7. Recálculos

4.7.6.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para conocer mejor a los consumidores de HFC a nivel nacional, la Unidad de Ozono del MMA elaboró el estudio “Elaboración de Inventario Nacional Individualizado de Hidrofluorocarbonos (HFC)” del 2019, en donde se refinan y actualizaron los datos y los factores de emisión ya levantados en el informe anterior “Elaboración de Inventario Nacional de Hidrofluorocarbonos (HFC)” del 2017.

4.7.6.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

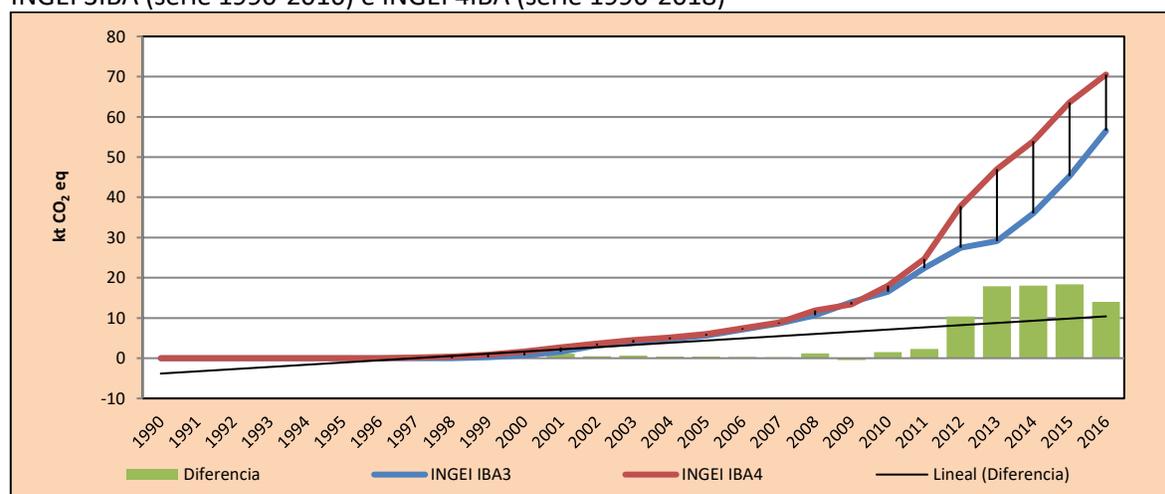
En la Tabla 175 y la Figura 87 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI 3IBA). Esto generó un aumento de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 5 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1999-2016.

Tabla 175. 2.F.3. Protección contra incendios: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|------|--------------|-------------|--------------|--------------|------|------|
| INGEI IBA3 | - | 0,7 | 16,5 | 29,1 | 56,5 | | |
| INGEI IBA4 | - | 1,7 | 18,0 | 47,0 | 70,5 | 69,7 | 67,1 |
| Diferencia | - | 0,9 | 1,5 | 17,9 | 14,0 | | |
| Diferencia % | | 55,2% | 8,3% | 38,1% | 19,8% | | |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 87. 2.F.3. Protección contra incendios: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.6.8. Plan de mejoramiento

No se esperan mejoras en la subcategoría

4.7.7. Aerosoles (2.F.4.)

4.7.7.1. Descripción de la subcategoría

En el sector de los aerosoles los HFC son utilizados como propelentes en diferentes sub-aplicaciones:

- Higiene Personal: productos para el pelo, desodorantes, cremas de afeitar, etc.
- Doméstico: productos de limpieza, pinturas en *spray*, productos de comida, desodorante ambiental, insecticidas y repelentes.
- Industrial: aerosoles lubricantes, *sprays* de limpieza, bocinas de seguridad.
- Aerosoles de uso médico tales como inhaladores dosificados (MDI), aerosoles nasales y de uso tópico.

El uso de compuestos fluorados para aerosoles en Chile es abastecido en un 100 % por importaciones, ya que dichos compuestos no se producen en Chile. En los últimos años se ha masificado el uso de hidrocarburos debido su bajo costo, pero en aplicaciones médicas donde se requieren sustancias no tóxicas se emplean los HFC-134a y HFC-227ea.

4.7.7.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 21 kt CO₂ eq (representando el 0,6 % de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo en un 3 % desde 2016 (Tabla 157 y Figura 82). El principal causante de la tendencia es el uso para MDI y el uso de HFC-134a como reemplazo de otras sustancias.

4.7.7.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Aerosoles* se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* Ecuación 7.6; Capítulo 7; Volumen 3; basado en el supuesto que considera que las emisiones ocurren generalmente poco después de la producción, en promedio seis meses después de la venta.

4.7.7.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de los gases fluorados usados para los aerosoles son elaborados a partir de la información de importación y exportación proporcionados por Aduanas. Según lo informado por la Unidad de Ozono del MMA, en el país no existe producción ni destrucción de gases fluorados. El balance para el consumo se basa en la Ecuación 15, considerando valores para Aerosoles.

Se debieron aplicar algunas correcciones a los datos de actividad al encontrarse que, para algunos años, la exportación de ciertos gases superaba a la importación. Este hecho parece no seguir el mercado nacional, dado que no se produce ningún tipo de HFC en el país. Para corregir los datos se optó por no considerar estas exportaciones, que a su vez son valores de alrededor de los 100 kg de HFC. Los resultados se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 176. 2.F.4. Aerosoles: consumo neto de gases fluorados (kg de HFC), serie 1998 - 2018.

| Año | HFC134a | HFC227ea |
|------|---------|----------|
| 2001 | (14) | - |
| 2002 | (183) | - |
| 2003 | (206) | - |
| 2004 | (40) | - |
| 2005 | (187) | - |
| 2006 | (97) | - |
| 2007 | (98) | - |
| 2008 | 7.399 | 70 |
| 2009 | 8.503 | - |
| 2010 | 8.979 | 586 |
| 2011 | 9.115 | 484 |
| 2012 | 12.023 | 31 |
| 2013 | 11.943 | 525 |
| 2014 | 10.160 | 422 |
| 2015 | 5.410 | 364 |
| 2016 | 13.042 | 5.089 |
| 2017 | 13.417 | 929 |
| 2018 | 13.321 | 451 |

(): Los valores entre paréntesis corresponden a exportaciones que no fueron consideradas.

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.7.3.2. Factores de emisión

El factor de emisión usado corresponde a 0,5 fracción de la sustancia química emitida, para todas las sustancias, de acuerdo con el factor por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 7.3.2.2.; Capítulo 7; Volumen 3).

4.7.7.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de -95 % +316 %. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión. Para

los datos de actividad se optó por una incertidumbre del -30 % y +300 %, ante la ausencia de mejor información por parte de Aduanas, de acuerdo con el punto 7.3.3. Evaluación de incertidumbre, del volumen 3 de las *Directrices del IPCC 2006*. En el caso del factor de emisión, se decidió por una incertidumbre del -90 % y +100 %, 7.2.3. Evaluación de incertidumbre, del volumen 3 de las *Directrices del IPCC 2006*. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 177.

Tabla 177. 2.F.4. Aerosoles: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------|-----|---|--------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.F.4. | Aerosoles | HFC | 30,0% | 300,0% | 90,0% | 100,0% | 94,9% | 316,2% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Se concluye de la tabla anterior que la fuente de incertidumbre corresponde tanto a la relacionada con los datos de actividad como con factores de emisión.

4.7.7.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Se debieron aplicar algunas correcciones a los datos de actividad las que se describen en la sección 3.7.7.3.1. *supra*.

4.7.7.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.7.7.6.1. Verificación

No se realizaron mayores actividades para la verificación de las emisiones.

4.7.7.7. Recálculos

4.7.7.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para mejorar los datos de actividad entregados por Aduanas, la sección de Ozono del MMA elaboró el estudio "Elaboración de Inventario Nacional Individualizado de Hidrofluorocarbonos (HFC)" en 2019, en donde se refinan los datos ya levantados.

4.7.7.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 178 y la Figura 88 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI 3IBA). Esto generó una disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 10,7 kt CO₂ eq anuales durante la serie 2005-2016.

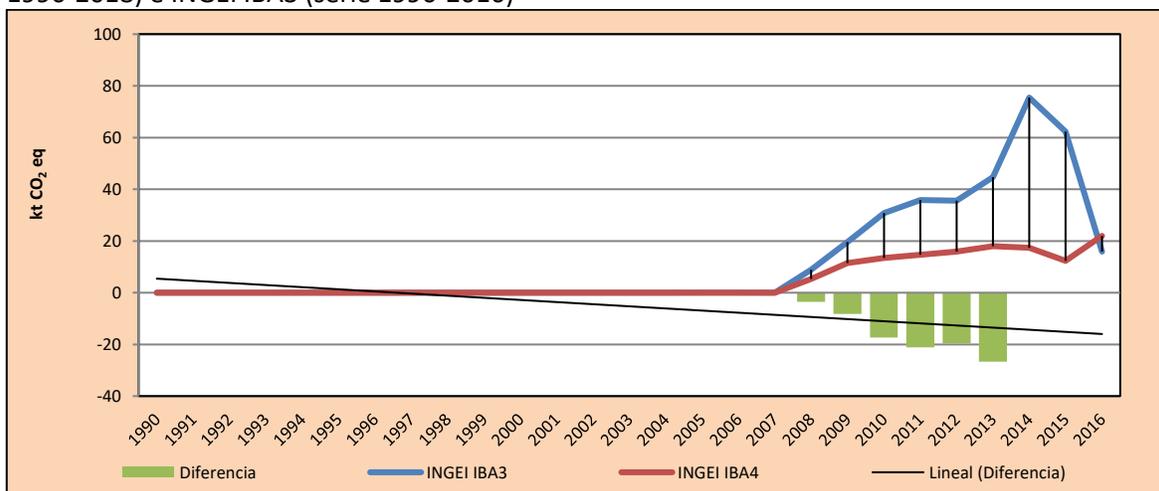
Tabla 178. 2.F.4. Aerosoles: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------|------|------|--------|--------|------|------|------|
| INGEI IBA3 | | - | 30,8 | 44,8 | 15,9 | | |
| INGEI IBA4 | | - | 13,4 | 18,0 | 22,0 | 28,6 | 21,3 |
| Diferencia | - | - | - 17,3 | - 26,7 | 6,1 | | |

| | | | | | | | |
|--------------|--|--|---------|---------|-------|--|--|
| Diferencia % | | | -128,9% | -148,2% | 27,6% | | |
|--------------|--|--|---------|---------|-------|--|--|

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 88. 2.F.4. Aerosoles: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA4 (serie 1990-2018) e INGEI IBA3 (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.7.8. Plan de mejoramiento

No se consideran mejoras para esta subcategoría.

4.7.8. Solventes (2.F.5.)

4.7.8.1. Descripción de la subcategoría

Los HFC se emplean hoy en aplicaciones de solventes en un grado mucho menor que el uso del CFC-113 anterior a su retiro de la circulación y aún se utilizan PFC en raras ocasiones. Los usos de los HFC y/o PFC como solventes se producen en las cuatro principales áreas siguientes:

- Limpieza de precisión;
- Limpieza en la electrónica;
- Limpieza de metales;
- Aplicaciones de deposición.

El uso de compuestos fluorados para solventes en Chile con fines de limpieza de contactos eléctricos es abastecido en un 100 % por importaciones, ya que dichos compuestos no se producen en Chile. A partir de 2006 comenzaron a importarse estos productos a Chile de manera. Las exportaciones, por el contrario, no son significativas.

4.7.8.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 23 kt CO₂ eq (representando el 0,6 % de las emisiones de GEI de la categoría), aumentando en un 39 % desde 2016 (Tabla 157 y Figura 82). El principal causante de la tendencia es el consumo variable de HFC-134a.

4.7.8.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Solventes* se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* Ecuación 7.5; Capítulo 7; Volumen 3; basado en el supuesto que considera que las emisiones ocurren generalmente poco después de la producción, en promedio seis meses después de la venta.

4.7.8.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de los gases fluorados usados para los solventes son elaborados a partir de la información de importación y exportación proporcionados por Aduanas. Según lo informado por la Unidad de Ozono del MMA, en el país no existe producción ni destrucción de gases fluorados. El balance para el consumo se basa en la Ecuación 15, considerando valores de Solventes.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 179. 2.F.5.Solventes: consumo neto de gases fluorados (kg de HFC), serie 1998 - 2018.

| Año | HFC134a | HFC152a | HFC227ea | HFC245fa | HFC365mfc | HFC43-10mee | PFC-218 |
|------|---------|---------|----------|----------|-----------|-------------|---------|
| 1998 | 269 | - | - | - | - | - | - |
| 1999 | 1.606 | - | - | - | - | - | - |
| 2000 | 2.151 | - | - | - | - | 39 | - |
| 2001 | 2.253 | - | - | - | - | - | - |
| 2002 | 1.564 | 441 | - | 301 | 301 | - | - |
| 2003 | 585 | - | - | 5 | 5 | - | - |
| 2004 | 809 | 145 | - | - | - | - | - |
| 2005 | 695 | - | 10 | 180 | 180 | - | - |
| 2006 | 1.126 | - | - | 238 | 277 | - | - |
| 2007 | 284 | 468 | - | 158 | 245 | - | - |
| 2008 | 549 | 11 | - | 247 | 376 | - | - |
| 2009 | 379 | - | - | 54 | 56 | - | - |
| 2010 | 2.358 | - | - | 465 | 746 | - | - |
| 2011 | 3.842 | 226 | - | 768 | 882 | - | - |
| 2012 | 8.896 | 13 | - | 906 | 906 | - | - |
| 2013 | 11.886 | - | - | 428 | 428 | - | - |
| 2014 | 9.587 | 6 | - | 241 | 354 | - | 7,8 |
| 2015 | 11.940 | - | - | 900 | 931 | - | 8,5 |
| 2016 | 10.160 | 4 | - | - | 145 | - | 13,6 |
| 2017 | 13.995 | 23 | - | 379 | 411 | 10 | 23,5 |
| 2018 | 17.239 | 38 | - | 480 | 538 | - | 4,3 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.8.3.2. Factores de emisión

El factor de emisión usado corresponde a 0,5 fracción de la sustancia química emitida, para todas las sustancias, de acuerdo con el factor por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 7.2.2.2.; Capítulo 7; Volumen 3).

4.7.8.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de -95 % +104 %. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión. Para los datos de actividad se optó por una incertidumbre del -30 % y +30 %, ante la ausencia de mejor

información por parte de Aduanas, de acuerdo con el punto 7.3.3. Evaluación de incertidumbre, del volumen 3 de las *Directrices del IPCC 2006*. En el caso del factor de emisión, se decidió por una incertidumbre del -90,0 % y +100,0 % de acuerdo con 7.2.3. Evaluación de incertidumbre, del volumen 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 180.

Tabla 180. 2.F.5. Solventes: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------|-----|---|-------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.F.5. | Solventes | HFC | 30,0% | 30,0% | 90,0% | 100,0% | 94,9% | 104,4% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Se concluye de la tabla anterior que la fuente de incertidumbre corresponde tanto a la relacionada con los datos de actividad como con factores de emisión.

4.7.8.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Se debieron aplicar algunas correcciones a los datos de actividad las que se describen en la sección 3.7.8.3.1. *supra*.

4.7.8.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.7.8.6.1. Verificación

No se realizaron mayores actividades para la verificación de las emisiones.

4.7.8.7. Recálculos

4.7.8.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para mejorar los datos de actividad entregados por Aduanas, la sección de Ozono del MMA elaboró el estudio "Elaboración de Inventario Nacional Individualizado de Hidrofluorocarbonos (HFC)" en 2019, en donde se refinan los datos ya levantados corrigiendo errores del inventario anterior.

4.7.8.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 181 y la Figura 89 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI 3IBA). Esto generó una disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 3 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1998-2016. En 2001 se había considerado una importación de HFC-125 y HFC-134a que no correspondían a esta aplicación, y al corregirse se produjo una disminución de 18 kt CO₂ eq para 2001 y 2002.

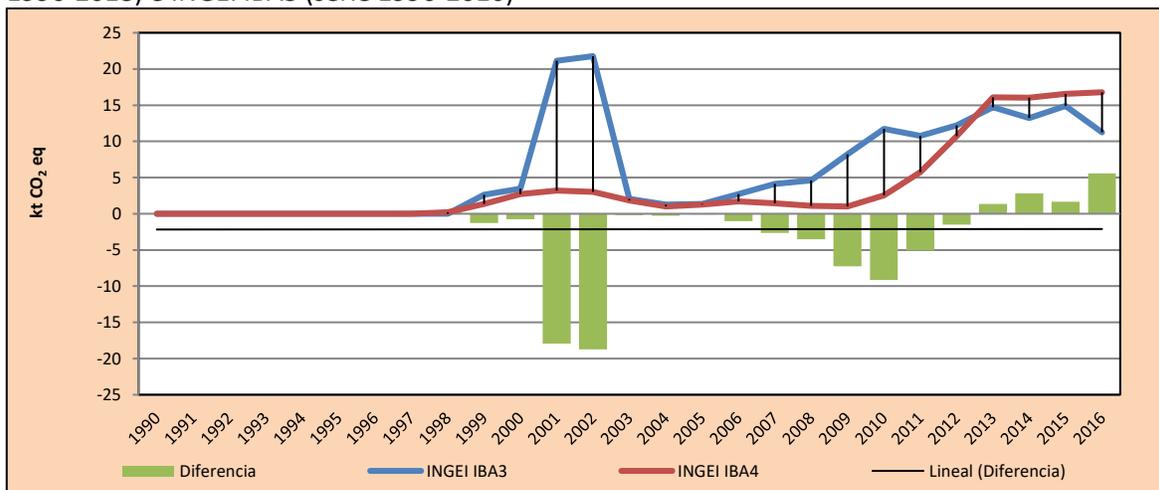
Tabla 181. 2.F.5. Solventes: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA4 (serie 1990-2018) e INGEI IBA3 (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|
|-------|------|------|------|------|------|------|------|

| | | | | | | | |
|--------------|---|--------|---------|------|-------|------|------|
| INGEI IBA3 | - | 3,5 | 11,7 | 14,7 | 11,2 | | |
| INGEI IBA4 | - | 2,7 | 2,5 | 16,1 | 16,8 | 17,8 | 23,3 |
| Diferencia | - | -0,7 | -9,2 | 1,4 | 5,6 | | |
| Diferencia % | - | -27,1% | -360,6% | 8,5% | 33,1% | | |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 89. 2.F.5. Solventes: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA4 (serie 1990-2018) e INGEI IBA3 (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.8.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Conformación de mesas de trabajo con las empresas, o asociaciones gremiales relacionadas con la industria de los solventes, y Aduanas para levantar información estadística y paramétrica de primera fuente, y verificar la información oficial del país.
- Coordinación con la sección de Ozono del MMA para la incorporación de información relacionada con el uso de sustitutos de SAO en aerosoles.

4.7.9. Otras aplicaciones (2.F.6.)

No ocurre en el país.

4.8. Manufactura y utilización de otros productos (2.G.)

4.8.1. Descripción de la categoría

La categoría *Manufactura y utilización de otros productos* incluye las emisiones del uso de SF₆, PFC y N₂O en diferentes aplicaciones que se basan en las diferentes propiedades físicas de estas sustancias, como la elevada constante dieléctrica del SF₆, la estabilidad de los PFC y los efectos anestésicos del N₂O. Las subcategorías incluidas son:

- 2.G.1. Equipos eléctricos.

- 2.G.2. SF₆ y PFC de otros usos de productos.
- 2.G.3. N₂O de usos de productos.

En el contexto nacional se registra la actividad relacionada con equipos eléctricos y con uno de N₂O en aplicaciones médicas como anestesia.

4.8.2. Tendencia de las emisiones de GEI

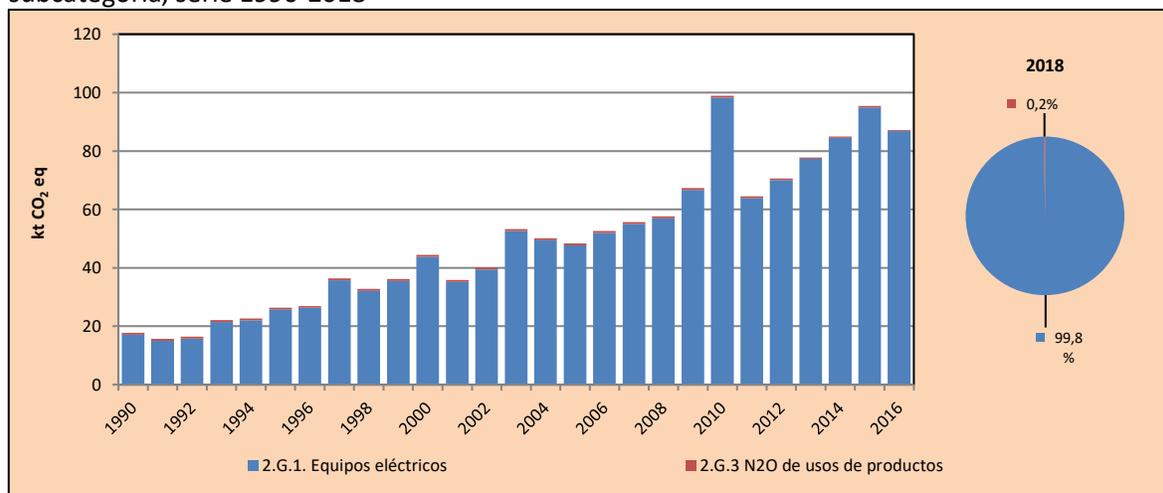
La categoría *Manufactura y utilización de otros productos* es la quinta categoría emisora de GEI del sector IPPU representando el 1,7 % de las emisiones del sector. En 2018, sus emisiones de GEI contabilizaron 112 kt CO₂ eq, incrementándose en un 528 % desde 1990 y en un 28 % desde 2016. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la creciente instalación de interruptores de alta tensión y subestaciones eléctricas, y la mantención de estas. Las emisiones de esta categoría corresponden casi en su totalidad a las emisiones de la subcategoría *Equipos eléctricos* y solo un 0,2 % a N₂O de usos de productos (Tabla 182 y Figura 90).

Tabla 182. 2.G. Manufactura y utilización de otros productos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 2.G.1. Equipos eléctricos | 17,1 | 43,8 | 98,3 | 77,3 | 86,8 | 106,4 | 111,4 |
| 2.G.3 N ₂ O de usos de productos | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| Total | 17,8 | 44,4 | 98,9 | 77,7 | 87,2 | 106,7 | 111,7 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 90. 2.G. Manufactura y utilización de otros productos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.8.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría se aplicó el método Nivel 1. La subcategoría *SF₆ y PFC de otros usos de productos* no ocurre en el país. En la Tabla 183 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 183. 2.G. Manufactura y utilización de otros productos: aspectos metodológicos.

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | | HFC | | PFC | | SF ₆ | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 2.G. Manufactura y utilización de otros productos | | | | | T1, NA, NE | D, NA, NE | | | NA, NO | NA, NO | T1, NA, NO | D, NA, NO |
| 2.G.1. Equipos eléctricos | | | | | | | | | NO | NO | T1 | D |
| 2.G.2. SF ₆ y PFC de otros usos de productos | | | | | | | | | NA, NO | NA, NO | NA, NO | NA, NO |
| 2.G.3. N ₂ O de usos de productos | | | | | T1, NA, NE | D, NA, NE | | | | | | |
| 2.G.4. Otros (especificar) | | | | | | | | | | | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

El cálculo de las emisiones para las subcategorías en las que se aplicó el método Nivel 1 se realizó a través de planillas Excel basadas en las de las *Directrices del IPCC de 2006*.

4.8.4. Equipos eléctricos (2.G.1.)

4.8.4.1. Descripción de la subcategoría

El hexafluoruro de azufre (SF₆) se emplea como aislante eléctrico y para interrumpir la corriente en los equipos utilizados en la transmisión y distribución de electricidad. Las emisiones se producen en cada etapa del ciclo de vida útil de los equipos, incluida la fabricación, la instalación, el uso, el mantenimiento y la eliminación. La mayor parte del SF₆ utilizado en los equipos eléctricos se emplea en conmutadores y subestaciones con aislación de gas (GIS, del inglés, Gas-Insulated Substations) y en los disyuntores a gas (GCB, del inglés, Gas Circuit Breakers), aunque parte del SF₆ se emplea en líneas de alta tensión con aislación de gas (GIL, del inglés, Gas-Insulated Lines), en transformadores para aparatos de medida externos con aislación de gas y en otros equipos.

En Chile a partir de la década de 1980 se han construido varios proyectos que emplean GIS, principalmente como patios de alta tensión de centrales térmicas e hidráulicas, subestaciones en zonas urbanas y subestaciones de alimentación eléctrica a proyectos mineros.

4.8.4.2. Tendencia de las emisiones de GEI

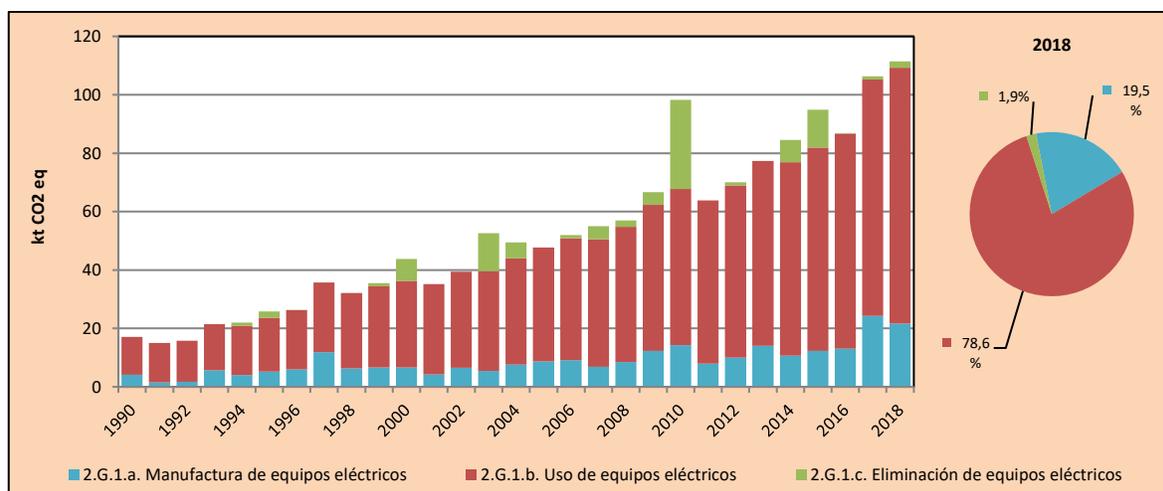
La subcategoría *Equipos eléctricos* es la principal subcategoría emisora estimada dentro de la categoría *Manufactura y utilización de otros productos* (representando un 99,8 % de la categoría). En 2018, las emisiones de GEI contabilizaron 111 kt CO₂ eq, incrementándose en un 550 % desde 1990 y en un 28 % desde 2016 (Tabla 184 y Figura 91). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la creciente instalación de interruptores de alta tensión y subestaciones eléctricas, y la mantención y fin de vida útil de las mismas.

Tabla 184. 2.G.1. Equipos eléctricos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 2.G.1.a. Manufactura de equipos eléctricos | 4,1 | 6,6 | 14,3 | 14,1 | 13,0 | 24,3 | 21,7 |
| 2.G.1.b. Uso de equipos eléctricos | 13,0 | 29,6 | 53,5 | 63,2 | 73,6 | 81,0 | 87,6 |
| 2.G.1.c. Eliminación de equipos eléctricos | 0,0 | 7,6 | 30,5 | 0,0 | 0,1 | 1,1 | 2,2 |
| Total | 17,1 | 43,8 | 98,3 | 77,3 | 86,8 | 106,4 | 111,4 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 91. 2.G.1. Equipos eléctricos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.8.4.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Equipos eléctricos* se utilizó un método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC 2006* Ecuación 8.1; Capítulo 8; Volumen 3, basado en la sumatoria de las emisiones de cada una de las etapas del ciclo de vida de cada tipo de equipo eléctrico (manufactura, instalación, uso y disposición).

Es importante mencionar que en el caso nacional no existe manufactura de estos equipos.

4.8.4.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad recopilados para la estimación de emisiones corresponden a la capacidad de SF₆ en nuevos equipos instalados, SF₆ presente en los equipos en uso de acuerdo con la capacidad nominal y, la capacidad de los equipos retirados. Los datos se obtuvieron para toda la serie temporal, distinguiendo entre equipos interruptores de alta tensión y baja tensión y subestaciones eléctricas encapsuladas (GIS). Los datos fueron estimados a partir de información reportada por el coordinador eléctrico general, lo que se complementó con el estudio "Revisión de la tecnología y valorización de proyectos de instalación y operación de subestaciones GIS" de 2013 solicitado por la Comisión nacional de energía (Tabla 185 y Tabla 186). Adicionalmente se supuso un contenido de 0,6 kg de SF₆ por interruptor de menos de 52 kV y de 50 kg de SF₆ para interruptores de más de 52 kV, con respecto a las GIS se consideró 500 kg de SF₆ para subestaciones de más de 100 kV y 6 kg de SF₆ para subestaciones de menos de 100 kV⁶⁷.

Tabla 185. 2.G.1. Equipos eléctricos: datos de actividad de equipos eléctricos HV (kg) para las diferentes etapas del ciclo de vida, serie 1990-2018

| Año | Capacidad instalada (kg) | Sistemas en operación (kg) | Remanente en equipos retirados (kg) |
|------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 1990 | 2.100,0 | 21.950,0 | 0,0 |
| 1991 | 750,0 | 22.700,0 | 0,0 |
| 1992 | 900,0 | 23.600,0 | 0,0 |
| 1993 | 2.900,0 | 26.500,0 | 0,0 |
| 1994 | 2.050,0 | 28.500,0 | 50,0 |

⁶⁷ http://studiecd.dk/cahiers_techniques/SF6_properties.pdf

| | | | |
|------|----------|-----------|---------|
| 1995 | 2.650,0 | 31.050,0 | 100,0 |
| 1996 | 3.100,0 | 34.150,0 | 0,0 |
| 1997 | 6.100,0 | 40.250,0 | 0,0 |
| 1998 | 3.250,0 | 43.500,0 | 0,0 |
| 1999 | 3.400,0 | 46.850,0 | 50,0 |
| 2000 | 3.400,0 | 49.900,0 | 350,0 |
| 2001 | 2.200,0 | 52.100,0 | 0,0 |
| 2002 | 3.350,0 | 55.450,0 | 0,0 |
| 2003 | 2.800,0 | 57.650,0 | 600,0 |
| 2004 | 3.950,0 | 61.350,0 | 250,0 |
| 2005 | 4.450,0 | 65.800,0 | 0,0 |
| 2006 | 4.700,0 | 70.450,0 | 50,0 |
| 2007 | 3.500,0 | 73.750,0 | 200,0 |
| 2008 | 4.400,0 | 78.050,0 | 100,0 |
| 2009 | 6.350,0 | 84.200,0 | 200,0 |
| 2010 | 7.350,0 | 90.150,0 | 1.400,0 |
| 2011 | 4.100,0 | 94.250,0 | 0,0 |
| 2012 | 5.150,0 | 99.350,0 | 50,0 |
| 2013 | 7.250,0 | 106.600,0 | 0,0 |
| 2014 | 5.500,0 | 111.750,0 | 350,0 |
| 2015 | 6.300,0 | 117.450,0 | 600,0 |
| 2016 | 6.700,0 | 124.150,0 | 0,0 |
| 2017 | 12.500,0 | 136.600,0 | 50,0 |
| 2018 | 11.150,0 | 147.650,0 | 100,0 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Tabla 186. 2.G.1. Equipos eléctricos: datos de actividad de equipos eléctricos MV (kg) para las diferentes etapas del ciclo de vida, serie 1990-2018

| Año | Capacidad instalada (kg) | Sistemas en operación (kg) | Remanente en equipos retirados (kg) |
|------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 1990 | 25,8 | 173,4 | 0,0 |
| 1991 | 45,6 | 219,0 | 0,0 |
| 1992 | 3,6 | 222,6 | 0,0 |
| 1993 | 43,8 | 266,4 | 0,0 |
| 1994 | 17,4 | 283,8 | 0,0 |
| 1995 | 18,0 | 301,2 | 0,6 |
| 1996 | 7,8 | 307,8 | 1,2 |
| 1997 | 16,8 | 324,6 | 0,0 |
| 1998 | 13,8 | 338,4 | 0,0 |
| 1999 | 18,0 | 356,4 | 0,0 |
| 2000 | 19,2 | 375,6 | 0,0 |
| 2001 | 11,4 | 387,0 | 0,0 |
| 2002 | 9,6 | 396,6 | 0,0 |
| 2003 | 19,2 | 415,8 | 0,0 |
| 2004 | 4,2 | 419,4 | 0,6 |
| 2005 | 21,6 | 441,0 | 0,0 |
| 2006 | 12,0 | 453,0 | 0,0 |
| 2007 | 11,4 | 459,6 | 4,8 |
| 2008 | 1,2 | 459,6 | 1,2 |
| 2009 | 25,8 | 483,6 | 1,8 |
| 2010 | 33,6 | 508,2 | 9,0 |
| 2011 | 7,8 | 516,0 | 0,0 |

| Año | Capacidad instalada (kg) | Sistemas en operación (kg) | Remanente en equipos retirados (kg) |
|------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 2012 | 33,6 | 549,0 | 0,6 |
| 2013 | 22,2 | 571,2 | 0,0 |
| 2014 | 18,0 | 589,2 | 0,0 |
| 2015 | 25,8 | 615,0 | 0,0 |
| 2016 | 40,2 | 648,6 | 6,6 |
| 2017 | 33,0 | 681,0 | 0,6 |
| 2018 | 57,0 | 738,0 | 0,0 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.8.4.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión de SF₆ para la instalación, uso y disposición de equipos eléctricos dependen del tipo de equipo y la región. De acuerdo con datos de Aduana la mayor parte de los equipos instalados son de Europa por lo que se consideraron los valores por defecto correspondientes de las *Directrices del IPCC de 2006*. Los factores de emisión se presentan en la Tabla 187.

Tabla 187. 2.G.1. Equipos eléctricos: factores de emisión (fracción) para cada etapa, por tipo de equipo.

| Etapa | equipos HV (*) | equipos MV (**) |
|-------------|----------------|-----------------|
| Instalación | 0,085 | 0,070 |
| Uso | 0,026 | 0,002 |
| Disposición | 0,950 | 0,930 |

Fuente: (*) Cuadro 8.3; Capítulo 8, Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006 (**) Cuadro 8.4; Capítulo 8; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

4.8.4.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de -36 % + 201 %. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 8.5; Capítulo 8; Volumen 3). A excepción de la incertidumbre hacia arriba de los datos de actividad que se estimó en base a los datos de aduana de importación. Mediante un balance de masa se observó un potencial banco 200 % mayor al considerado. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 188.

Tabla 188. 2.G.1. Equipos eléctricos: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|-----------------------------------|-----------------|---|--------|---------------------------------------|-------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.G.1.a. | Manufactura de equipos eléctricos | SF ₆ | 20,0% | 200,0% | 30,0% | 20,0% | 36,1% | 201,0% |
| 2.G.1.b. | Uso de equipos eléctricos | SF ₆ | 20,0% | 200,0% | 30,0% | 20,0% | 36,1% | 201,0% |
| 2.G.1.c. | Eliminación de equipos eléctricos | SF ₆ | 20,0% | 200,0% | 30,0% | 20,0% | 36,1% | 201,0% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Se concluye de la tabla anterior que la mayor fuente de incertidumbre corresponde a la relacionada con los factores de emisión por defecto y, por lo tanto, a la ausencia de factores país específico.

4.8.4.5. Consistencia de la serie temporal

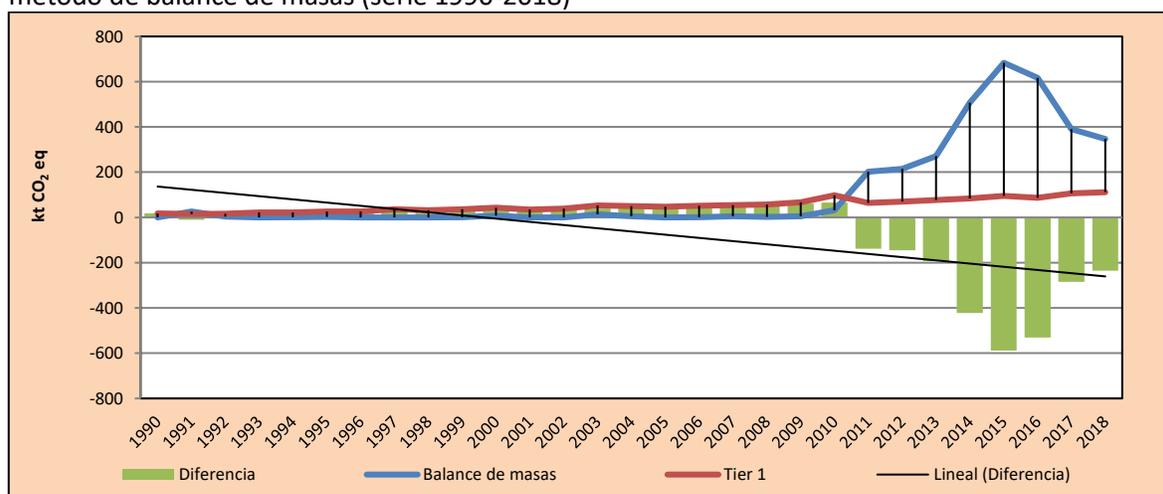
Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

4.8.4.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.8.4.6.1. Verificación

Se realizó una estimación con el método de balance de masa utilizando los datos de Aduana de importación y exportación de SF₆. Para esto se restó al consumo anual (Importación – Exportación) la carga de los nuevos equipos instalados ese año y se supuso que el resto se utiliza en mantención de equipos existentes. Luego el equivalente a lo requerido para mantención son las emisiones anuales. Los datos de consumo presentan un crecimiento exponencial desde 2010 hasta 2016 en que empiezan a disminuir. Esto no se condice con la carga estimada de nuevos equipos instalados, por lo que los resultados muestran un incremento significativo en las emisiones desde 2011. Se agrega al plan de mejora revisar si existen otros usos de SF₆ a nivel nacional o bien consultar con los agentes importadores condiciones del mercado para mejorar la estimación.

Figura 92. 2.G.1. Equipos eléctricos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del Tier 1 y método de balance de masas (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.8.4.7. Recálculos

4.8.4.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Por un lado, se utilizó otra fuente para los datos de actividad basados en información del coordinador eléctrico general, información que refleja mejor la realidad nacional. Por otro lado, se ajustaron los factores de emisión ya que antes se estaban doble contabilizando las emisiones de instalación y de uso al usarse un factor que consideraba las emisiones de ambas etapas del ciclo de vida además de uno solo para la instalación. A esto se suma que se consideró información de Aduana para caracterizar los equipos utilizados y se concluyó que los factores europeos reflejan mejor la realidad nacional que los de EE. UU. utilizados en el INGEI 3IBA.

4.8.4.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

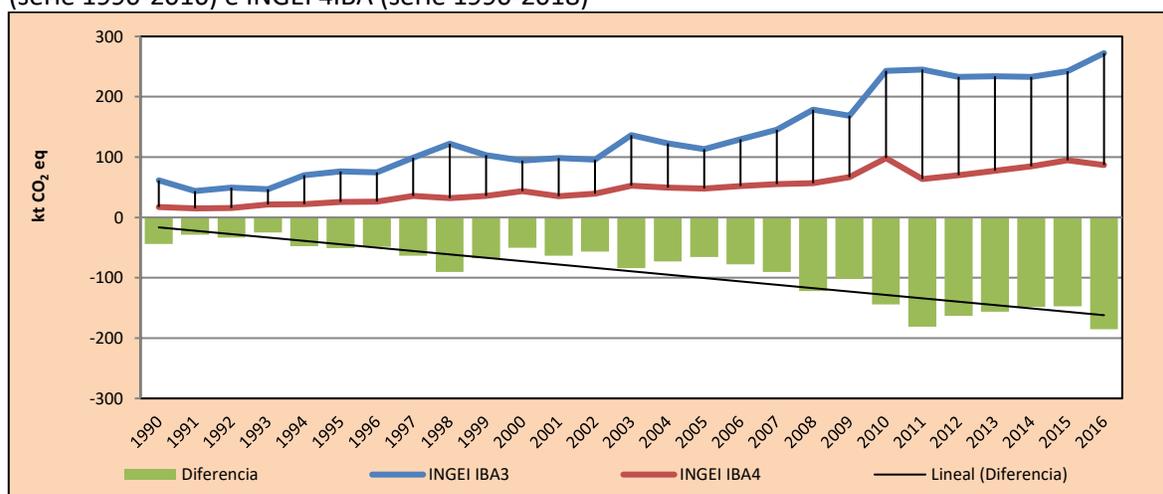
En la Tabla 189 y Figura 93 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI 3IBA). Esto generó una disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 89 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2016. La principal causa fue el cambio en el factor de emisión.

Tabla 189. 2.G.1. Equipos eléctricos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| INGEI IBA3 | 61,3 | 94,1 | 242,7 | 233,8 | 272,3 | | |
| INGEI IBA4 | 17,1 | 43,8 | 98,3 | 77,3 | 86,8 | 106,4 | 111,4 |
| Diferencia | -44,2 | -50,3 | -144,4 | -156,5 | -185,5 | | |
| Diferencia % | -258,0% | -114,8% | -146,9% | -202,5% | -213,6% | | |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 93. 2.G.1. Equipos eléctricos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.8.4.8. Plan de mejoramiento

A raíz de la verificación realizada utilizando datos de importación de aduana, revisar si existen otros usos de SF₆ a nivel nacional o bien consultar con los agentes importadores condiciones del mercado para mejorar los parámetros utilizados en la estimación.

4.8.5. SF₆ y PFC de otros usos de productos (2.G.2.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.8.6. N₂O de otros usos de productos (2.G.3.)

4.8.6.1. Descripción de la subcategoría

Las emisiones por evaporación de óxido nitroso (N₂O) pueden producirse a partir de varios tipos de uso de los productos, incluidos:

- Las aplicaciones médicas (uso de anestésicos, analgésicos y usos veterinarios);
- Los usos como propulsor en los productos de aerosol, principalmente en la industria alimenticia (crema batida en latas a presión, etc.);
- Los agentes oxidantes utilizados, junto al a
- La producción de azida sódica, que se usa para inflar las bolsas de aire de los automóviles (airbag);
- El uso como oxidante de combustible en las carreras automovilísticas; y
- Los agentes oxidantes en los sopletes empleados en joyería y otros usos.

De acuerdo con las buenas prácticas y a los datos disponibles se estiman las emisiones de aplicaciones médicas ya que existe evidencia de que se utiliza como anestésico.

4.8.6.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 0,2 kt CO₂ eq (representando el 0,2 % de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo en un 37 % desde 2016 (Tabla 182 y Figura 90). El principal causante de la tendencia es el uso de otras sustancias como analgésicos como reemplazo.

4.8.6.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Aplicaciones médicas* se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* Ecuación 8.24; Capítulo 7; Volumen 3; basado en el supuesto que considera que las emisiones ocurren generalmente poco después del suministro de la sustancia, dentro del año.

4.8.6.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad se obtuvieron en base a la licitación de un hospital público que indica una compra de 180 kg de N₂O al año. Además, se conoce el número de atenciones bajo sedación por N₂O realizados al año por institución ya que son reportadas por el Ministerio de Salud. Con lo que se obtiene un factor de 1,01 kg de N₂O por atención. Para extrapolar a nivel nacional y en el tiempo se conocen el número de atenciones bajo sedación por N₂O a nivel nacional para los años 2011, 2013, 2015, 2016 y 2018. Adicionalmente se tiene el antecedente de que se utiliza este tipo de sedación desde antes 1990⁶⁸, por lo que se extrapola manteniendo el dato de 2011 hasta 1990.

Tabla 190. 2.G.3 Aplicaciones médicas: datos de actividad de número de atenciones con sedante N₂O a nivel nacional, años disponibles.

| Año | Total nacional |
|------|----------------|
| 2011 | 2.121 |
| 2013 | 1.418 |
| 2015 | 1.598 |
| 2016 | 1.293 |
| 2018 | 817 |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA, en base a reportes de DEIS del Minsal.

4.8.6.3.2. Factores de emisión

No se utiliza factor de emisión

4.8.6.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de +-100,0 %. Se considera de alta incertidumbre ya que se estima en base a los datos de un hospital.

Tabla 191. 2.G.3 Aplicaciones médicas: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|----------------------|------------------|---|--------|---------------------------------------|------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 2.G.3 | Aplicaciones médicas | N ₂ O | 100,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 100,0% |

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

⁶⁸ <http://files.sld.cu/anestesiologia/files/2012/03/anestesia-sudamerica.pdf>

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Se concluye de la tabla anterior que la fuente de incertidumbre corresponde tanto a la relacionada con los datos de actividad como con factores de emisión.

4.8.6.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

4.8.6.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.8.6.6.1. Verificación

No se realizaron mayores actividades para la verificación de las emisiones.

4.8.6.7. Recálculos

No aplica

4.8.6.8. Plan de mejoramiento

No se consideran mejoras para esta subcategoría

4.8.7. Otros (2.G.4.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.9. Otros (2.H.)

Esta categoría no aplica dada las circunstancias nacionales.

5. SECTOR AGRICULTURA (3)

5.1. Panorama general

5.1.1. Introducción

El sector Agricultura incluye las emisiones y absorciones de GEI asociadas a las actividades agropecuarias de las tierras gestionadas en las que ha habido intervención humana y donde se han aplicado prácticas para la realización de actividades de producción, ecológicas o sociales. Este conjunto de actividades incluye:

- Las emisiones de CH₄ producidas por la fermentación entérica en el ganado;
- Las emisiones de CH₄ y N₂O de los sistemas de gestión del estiércol;
- Las emisiones de CO₂ relacionados con la utilización de fertilizantes inorgánicos;
- Las emisiones de CO₂ producido por el drenaje de suelos orgánicos gestionados;
- Las emisiones directas e indirectas de N₂O de los suelos gestionados;
- Las emisiones de CO₂ relacionadas con la aplicación de cal y urea en tierras gestionadas
- Las emisiones de CH₄ del cultivo del arroz;
- Las emisiones de CO₂ por quemas de residuos agrícolas

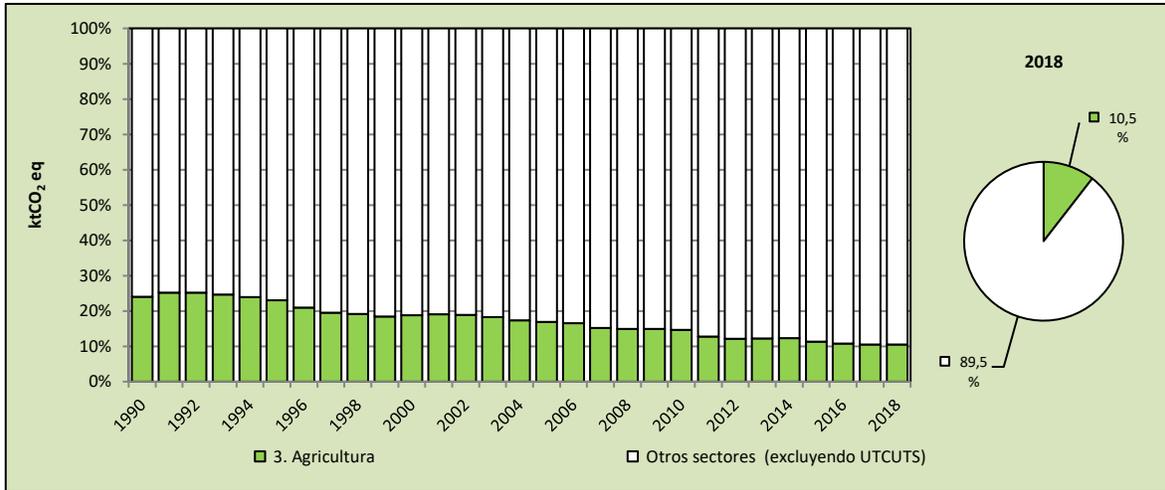
Dada la distintiva variación longitudinal de las características edafoclimáticas del país, las emisiones totales nacionales se estiman como la suma de las emisiones regionales del sector agropecuario.

Chile se encuentra organizado en 16 regiones políticas, incluyendo la Región Metropolitana. Esta división política ha variado en los últimos años, y ha llevado a la actualización de la distribución de datos de actividad, y factores de emisión regionales, además de la implementación del uso del nombre genérico de las regiones. En este informe se incluye la actualización de la serie de tiempo 1990-2018, considerando la división política de la Región del Biobío y la creación de la nueva región de Ñuble, que entró en vigor el 1 de enero de 2018.

5.1.2. Tendencia de las emisiones de GEI

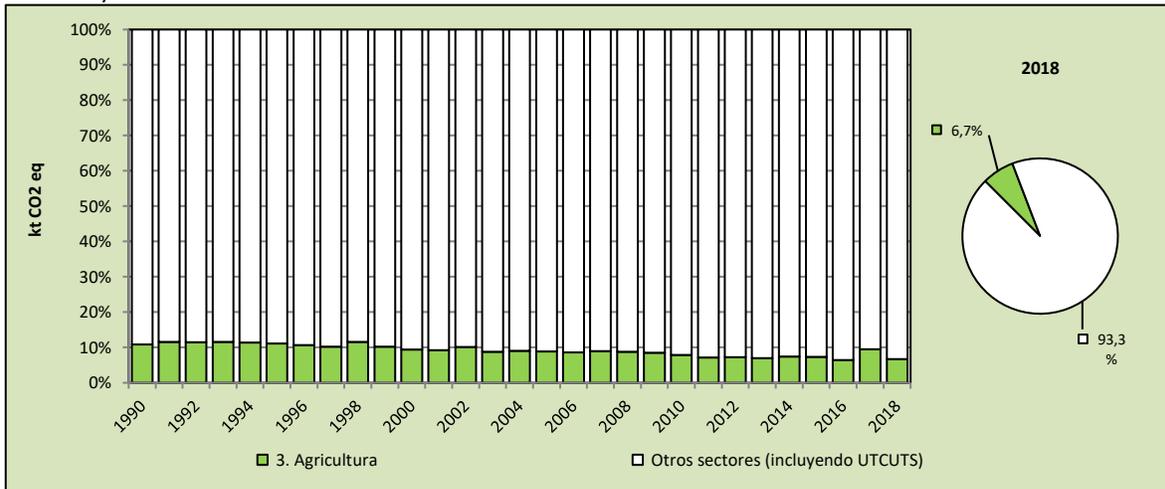
El sector Agricultura representó el 10,5 % de las emisiones de GEI totales (Figura 94) y el 6,7 % del balance de GEI del país (Figura 95) para el 2018.

Figura 94. Sector Agricultura: participación del sector en las emisiones de GEI totales (excluyendo UTCUTS).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 95. Sector Agricultura: participación del sector en las emisiones de GEI totales (incluyendo UTCUTS).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

En 2018, las emisiones de GEI del sector contabilizaron 11.789 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 0,4 % desde 1990 y en 0,8 % desde 2016 (Tabla 192 y Figura 96). Esto se debe mayormente, al comparar las emisiones respecto de 1990, a la reducción de la población de ganado bovino (-21 %) y ovino (-46 %), teniendo los bovinos una importante incidencia en las emisiones por fermentación entérica y de suelos gestionados. Dentro de la categoría bovinos, el número de vacas lecheras tuvo un leve aumento en este período (+5%), sin embargo, la categoría otros bovinos se redujo en forma significativa (-25 %). La reducción de la masa bovina, en especial de producción de carne está asociada a la baja rentabilidad del rubro, en comparación a otras alternativas pecuarias y agrícolas, y la oferta de carne bovina importada desde distintos países. Chile tiene una política de economía abierta con un gran número de acuerdos comerciales, siendo un importador de este producto.

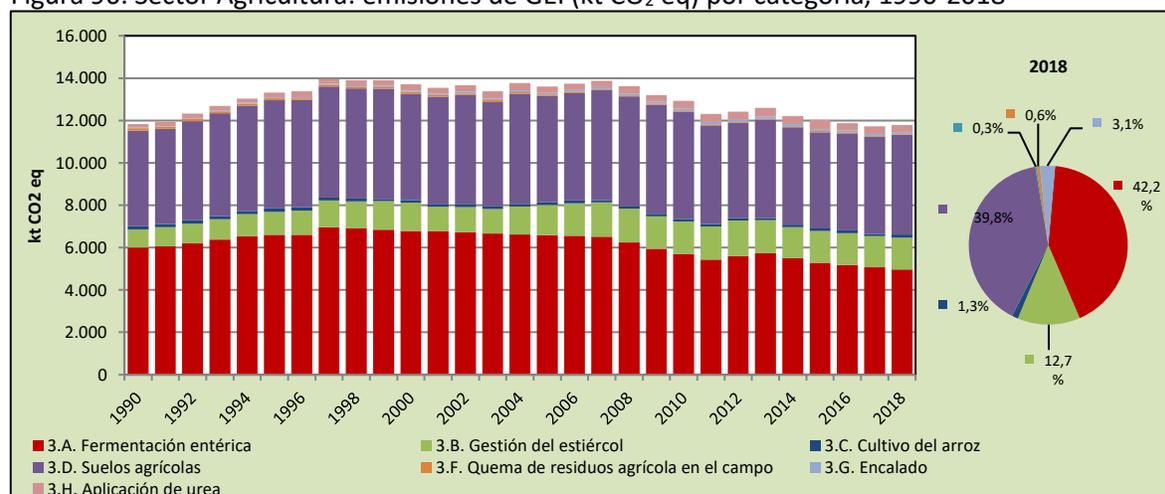
Por otra parte, durante la serie se ha observado un importante aumento de la existencia de ganado porcino (+198 %) y aves de corral (+108 %); así como en el uso de fertilizantes nitrogenados como urea (+55%).

Según los datos estimados, el 42,2 % de las emisiones de GEI corresponden a la categoría *Fermentación Entérica*, le siguen con 39,8 % la categoría de *Suelos agrícolas*, 12,7 % por *Gestión del estiércol*, 3,1 % por *Aplicación de Urea*, 1,3 % de *Cultivo de Arroz*, 0,6 % por *Encalado* y 0,3 % correspondiente a *Quema de residuos agrícolas en el campo*. Considerando los años 1990 y 2018, la mayor reducción se ha producido en la fermentación entérica, asociado a la reducción de la masa ganadera bovina y ovina, comentado previamente y el mayor aumento en emisiones en la categoría de gestión del estiércol, principalmente por la importancia de aves y cerdos.

Tabla 192. Sector Agricultura: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría

| Categoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 3.A. Fermentación entérica | 6.007,2 | 6.789,9 | 5.702,2 | 5.735,4 | 5.178,0 | 5.071,4 | 4.970,7 |
| 3.B. Gestión del estiércol | 852,3 | 1.325,3 | 1.525,6 | 1.560,6 | 1.502,8 | 1.471,1 | 1.498,3 |
| 3.C. Cultivo del arroz | 164,2 | 129,8 | 123,6 | 105,8 | 133,7 | 105,5 | 148,7 |
| 3.D. Suelos agrícolas | 4.490,0 | 5.018,9 | 5.054,6 | 4.636,9 | 4.578,2 | 4.599,9 | 4.696,6 |
| 3.F. Quema de residuos agrícola en el campo | 117,6 | 78,4 | 45,1 | 49,4 | 43,1 | 33,3 | 34,4 |
| 3.G. Encalado | 30,8 | 63,6 | 92,9 | 108,9 | 88,4 | 81,7 | 75,1 |
| 3.H. Aplicación de urea | 172,6 | 302,9 | 377,2 | 400,4 | 357,0 | 361,2 | 365,7 |
| Total | 11.834,8 | 13.708,9 | 12.921,1 | 12.597,4 | 11.881,3 | 11.724,0 | 11.789,4 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 96. Sector Agricultura: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, 1990-2018

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

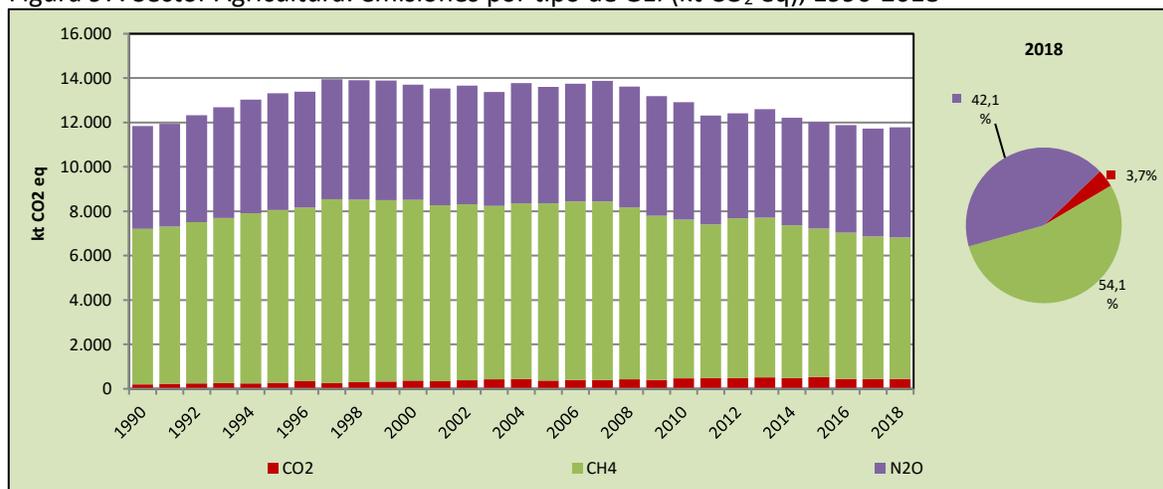
En 2018, el principal GEI emitido por el sector fue el CH₄, representando un 54,1 % del sector. Lo sigue el N₂O con un 42,1 % y el CO₂ con un 3,7 % (Figura 97 y Tabla 193). Esta importancia relativa de los distintos gases da cuenta de las principales fuentes de generación, en donde el sector pecuario, por la fermentación entérica se ha mantenido como la principal fuente en el período evaluado.

Tabla 193. Sector Agricultura: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq)

| GEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| CO ₂ | 203,4 | 366,5 | 470,1 | 509,3 | 445,4 | 442,9 | 440,8 |
| CH ₄ | 7.002,9 | 8.151,2 | 7.152,5 | 7.195,7 | 6.598,3 | 6.419,9 | 6.380,6 |
| N ₂ O | 4.628,4 | 5.191,2 | 5.298,6 | 4.892,4 | 4.837,6 | 4.861,2 | 4.968,1 |
| Total | 11.834,8 | 13.708,9 | 12.921,1 | 12.597,4 | 11.881,3 | 11.724,0 | 11.789,4 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Figura 97. Sector Agricultura: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.1.3. Aspectos metodológicos generales del sector

Para todas las categorías consideradas en el sector se utilizaron las metodologías propuestas por las *Directrices del IPCC de 2006*. Se aplicó el método Nivel 2 para las emisiones de CH₄ de la subcategoría *Ganado bovino* de la categoría *Fermentación entérica* usando factores de emisión país específico; al igual que para las emisiones de CH₄ y N₂O de la subcategoría *Ganado bovino* y *Porcinos* de la categoría *Gestión del estiércol*; en todas las otras especies de ambas categorías se aplicó un método Nivel 1. Para todas las subcategorías de la categoría *Suelos agrícolas* se aplicó método Nivel 1, excepto para las regiones de Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos de la subcategoría *Fertilizantes Inorgánicos* en que se empleó factores de emisión país específicos. En el caso de las categorías *Encalado*, *Cultivo de arroz*, *Aplicación de urea* y *Quema de residuos agrícolas* se aplicó un método Nivel 1. Para mayor detalle de la información, se sugiere revisar las secciones específicas de cada categoría y subcategoría. En la Tabla 194 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 194. Sector Agricultura: métodos aplicados por categoría

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|-------------|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3. | Agricultura | T1, NO, NA | D, NO, NA | T1, T2, NO, NA | CS, D, NO, NA, NE | T1, T2, NO, NA, NE | CS, D, NO, NA, NE |
| 3.A. | Fermentación entérica | | | T1, T2, NO | CS, D, NO | | |
| 3.B. | Gestión del estiércol | | | T1, T2, NO | CS, D, NO | T1, T2, NO | CS, D, NO |
| 3.C. | Cultivo del arroz | | | T1, NE, NO | D, NE, NO | | |
| 3.D. | Suelos agrícolas | | | | | T1, T2, NE | D, CS, NE |
| 3.E. | Quema prescrita de sabanas | NO | NO | | | | |
| 3.F. | Quema de residuos agrícola en el campo | | | T1 | D | T1 | D |
| 3.G. | Encalado | T1 | D | | | | |
| 3.H. | Aplicación de urea | T1 | D | | | | |
| 3.I. | Otros fertilizantes que contienen carbono | NO | NO | | | | |

| | | | | | | | |
|------|---|----|----|----|----|----|----|
| 3.J. | Otros (Fertilizantes inorgánicos - arrozales inundados) | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
|------|---|----|----|----|----|----|----|

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.1.4. Datos de actividad del sector

En el sector Agricultura los principales datos de actividad son la población de las especies animales (número de cabezas), y la cantidad de fertilizante aplicado a los suelos (toneladas). Esta información proviene principalmente de los Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007, encuestas sectoriales (por rubros), información aportada por la empresa privada y anuarios estadísticos elaborados por las mismas instituciones que forman parte del Equipo Técnico de Agricultura (ODEPA). Mayor detalle de las fuentes de datos de actividad será presentado en cada sección específica. Los Censos Agropecuarios y Forestales del país se realizan cada 10 años, siendo el último publicado el del año 2007 y debiendo haberse realizado uno el año 2017, que fue postergado para el primer semestre del 2021 dada la contingencia por COVID19.

5.2. Fermentación entérica (3.A.)

5.2.1. Descripción de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones de CH₄ generadas por la fermentación entérica que se produce en los sistemas digestivos de los animales. La categoría está conformada por las subcategorías siguientes:

- 3.A.1. *Ganado vacuno,*
- 3.A.2. *Ovinos,*
- 3.A.3. *Porcinos y*
- 3.A.4. *Otras especies.*

En el contexto nacional, estas subcategorías incluyen diversas especies animales agrupadas en los siguientes componentes:

- Ganado vacuno (incluye vacas lecheras, vacas carne, vaquillas, adultos carne, jóvenes carne y terneros);
- Ovinos (ovejas);
- Caprinos (cabras);
- Camélidos (incluye como población única a llamas y alpacas);
- Equinos (caballos);
- Mulas y asnos;
- Porcinos (cerdos desagregados en verracos, marranas y juveniles);
- Aves de corral (incluye como población única a gallinas ponedoras y de carne, patos, pavos y otras aves de corral); y
- Ciervos y Jabalíes.

5.2.2. Tendencia de las emisiones de GEI

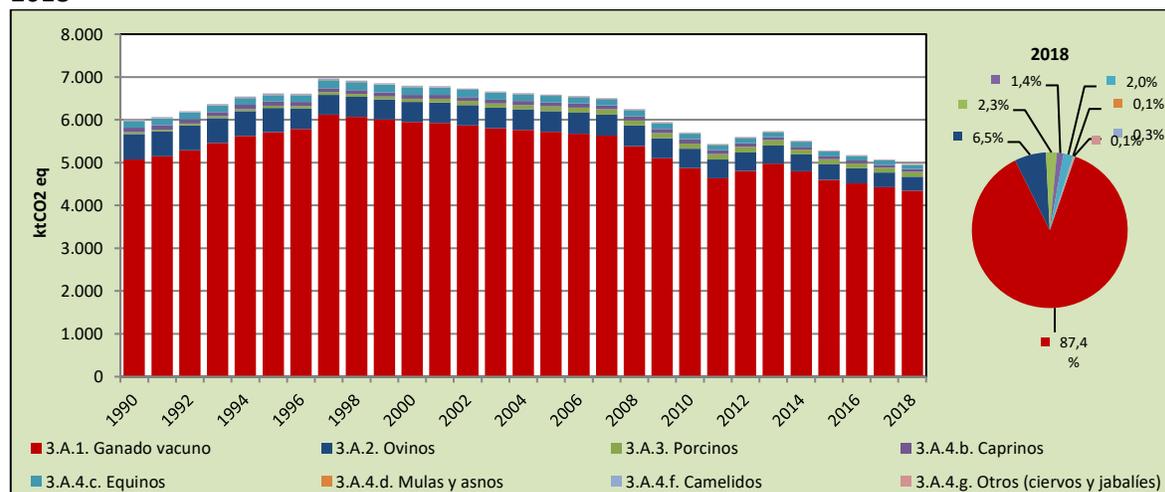
La categoría *Fermentación entérica* es la principal categoría emisora de GEI del sector *Agricultura*, representando el 42,2 % de las emisiones de GEI del sector. En 2018, sus emisiones de GEI contabilizaron 4.970,7 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 17,3 % desde 1990 y en un 4,0 % desde 2016 (Tabla 195 y Figura 98). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la baja en las poblaciones de ganado bovino y ovinos, que representan el 87,4 % y 6,5%, respectivamente, de emisiones en esta categoría para el año 2018. Estas reducciones dicen relación con las disminuciones de la rentabilidad de los negocios de producción de carne por importación de este tipo de producto, y por una reducción del precio de venta de lana en los mercados internacionales, respectivamente, que han resultado en una disminución de las expectativas de los negocios y con ello de la masa ganadera para estas subcategorías animales.

Tabla 195. 3.A. Fermentación entérica: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 3.A.1. Bovinos | 5.072,1 | 5.949,4 | 4.875,6 | 4.978,4 | 4.513,7 | 4.428,7 | 4.343,7 |
| 3.A.2. Ovinos | 598,7 | 472,4 | 453,7 | 425,3 | 356,1 | 340,7 | 325,3 |
| 3.A.3. Porcinos | 37,8 | 70,1 | 116,4 | 119,3 | 114,6 | 110,6 | 112,6 |
| 3.A.4.b. Caprinos | 109,6 | 92,3 | 101,3 | 70,8 | 65,0 | 66,8 | 68,5 |
| 3.A.4.c. Equinos | 156,4 | 174,0 | 131,6 | 118,9 | 106,1 | 101,9 | 97,7 |
| 3.A.4.d. Mulas y asnos | 8,9 | 7,2 | 5,1 | 4,5 | 3,9 | 3,7 | 3,5 |
| 3.A.4.f. Camélidos | 23,0 | 22,2 | 13,2 | 12,5 | 12,6 | 13,0 | 13,3 |
| 3.A.4.g. Otros (ciervos y jabalíes) | 0,7 | 2,3 | 5,4 | 5,6 | 5,9 | 6,0 | 6,1 |
| Total | 6.007,2 | 6.789,9 | 5.702,2 | 5.735,4 | 5.178,0 | 5.071,4 | 4.970,7 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 98. 3.A. Fermentación entérica: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría *Fermentación entérica* se emplearon las *Directrices del IPCC de 2006*. Se aplicó el método Nivel 2 para las emisiones de CH₄ de la subcategoría *Ganado bovino*, usando factores de emisión país específico, y un método Nivel 1 en todas las otras especies (Tabla 196).

Tabla 196. 3.A. Fermentación entérica: métodos aplicados por subcategoría

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|-------------|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | Método aplicado | Factor de emisión | Método Aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.A. | Fermentación entérica | | | T1, T2, NO, NE | CS, D, NO, NE | | |
| 3.A.1. | Bovinos | | | T2 | CS | | |
| 3.A.2. | Ovinos | | | T1 | D | | |
| 3.A.3. | Porcinos | | | T1 | D | | |
| 3.A.4.a. | Búfalos | | | NO | NO | | |
| 3.A.4.b. | Caprinos | | | T1 | D | | |
| 3.A.4.c. | Equinos | | | T1 | D | | |
| 3.A.4.d. | Mulas y asnos | | | T1 | D | | |
| 3.A.4.e. | Aves de corral | | | NE | NE | | |
| 3.A.4.f. | Camélidos (llamas y alpacas) | | | T1 | D | | |
| 3.A.4.g.i. | Ciervos | | | T1 | D | | |
| 3.A.4.g.ii | Jabalíes | | | T1 | D | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.2.4. Datos de actividad de la categoría

Las categorías *Fermentación entérica* y *Gestión del estiércol* se encuentran interrelacionadas, de manera que parte de los datos de actividad estadísticos y paramétricos empleados en las estimaciones de GEI es común para ambas. Asimismo, la categoría de *Gestión del estiércol* genera información (Nitrógeno excretado) que es empleada en las subcategorías *Emisiones directas e indirectas de los suelos agrícolas* de la categoría *Suelos agrícolas*.

Las poblaciones de las especies animales, en cabezas-año, fueron obtenidos de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007*, de las estadísticas anuales y bienales publicadas por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), del Instituto Nacional de Estadística (INE) y la Asociación de Productores de Cerdo (ASPROCER), en el caso de la existencia de porcinos.

Para las especies animales que no contaban con información detallada entre los años intercensales 1996/1997 y 2006/2007, se realizaron interpolaciones entre ambos censos para cada especie animal a excepción de los porcinos, que cuenta con información anual entregada por la empresa privada. Para los años anteriores al 1997 se efectuaron extrapolaciones. Para los años posteriores al 2007, se usaron proyecciones entre las encuestas bienales realizados por ODEPA. En el caso del ganado bovino, se contó con la información de las encuestas de 2009, 2011, 2013, 2015 y 2017. Para el ganado ovino y caprino se contó con los datos de las encuestas realizadas en 2010, 2013 y 2015. Para aves de corral se obtuvo información, para 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2017 y 2018 (Tabla 197 y Figura 99).

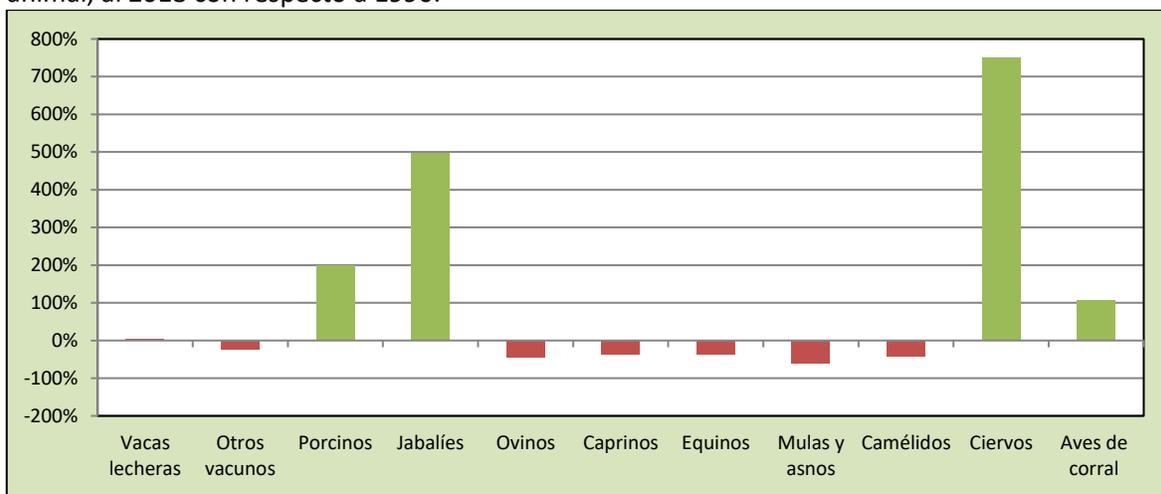
Tabla 197. Sector Agricultura: datos de actividad de la población animal (cabezas/año) por componente animal, serie 1990-2018

| Año | Vacas lecheras | Otros vacunos | Porcinos | Jabalíes | Ovinos | Caprinos | Equinos | Mulas y asnos | Camélidos | Ciervos | Aves de corral |
|------|----------------|---------------|-----------|----------|-----------|----------|---------|---------------|-----------|---------|----------------|
| 1990 | 488.184 | 2.982.653 | 1.007.722 | 0 | 4.789.389 | 876.590 | 347.516 | 35.749 | 115.169 | 1.399 | 31.568.107 |
| 1991 | 491.475 | 3.034.092 | 1.078.438 | 0 | 4.676.536 | 856.820 | 342.763 | 35.095 | 116.524 | 1.506 | 33.022.161 |
| 1992 | 511.357 | 3.102.564 | 1.139.053 | 0 | 4.613.567 | 837.050 | 337.064 | 34.441 | 117.879 | 1.614 | 34.476.215 |
| 1993 | 529.896 | 3.205.523 | 1.202.692 | 0 | 4.626.705 | 817.280 | 340.647 | 33.787 | 119.234 | 1.722 | 35.930.269 |
| 1994 | 547.567 | 3.298.912 | 1.302.825 | 0 | 4.597.913 | 797.510 | 352.255 | 33.133 | 120.589 | 1.829 | 37.384.323 |
| 1995 | 558.076 | 3.331.527 | 1.357.804 | 0 | 4.488.233 | 777.739 | 338.649 | 32.480 | 121.944 | 1.937 | 38.838.377 |
| 1996 | 571.356 | 3.370.796 | 1.499.067 | 0 | 3.834.603 | 757.969 | 350.853 | 31.826 | 123.299 | 2.044 | 40.292.431 |
| 1997 | 617.612 | 3.521.441 | 1.722.407 | 0 | 3.710.459 | 738.199 | 415.036 | 31.172 | 124.654 | 2.152 | 41.746.485 |
| 1998 | 604.474 | 3.499.644 | 1.737.144 | 626 | 3.733.303 | 738.268 | 405.606 | 30.344 | 120.133 | 2.928 | 42.788.307 |
| 1999 | 591.336 | 3.477.846 | 1.888.944 | 1.251 | 3.756.146 | 738.337 | 396.177 | 29.515 | 115.612 | 3.705 | 43.830.130 |
| 2000 | 578.198 | 3.456.049 | 1.869.272 | 1.877 | 3.778.990 | 738.405 | 386.747 | 28.687 | 111.091 | 4.481 | 44.871.952 |
| 2001 | 565.060 | 3.434.251 | 2.359.315 | 2.502 | 3.801.833 | 738.474 | 377.318 | 27.858 | 106.570 | 5.257 | 45.913.775 |
| 2002 | 551.922 | 3.412.454 | 2.549.060 | 3.128 | 3.824.677 | 738.543 | 367.888 | 27.030 | 102.049 | 6.034 | 46.955.597 |
| 2003 | 538.783 | 3.390.656 | 2.468.345 | 3.753 | 3.847.521 | 738.612 | 358.458 | 26.201 | 97.527 | 6.810 | 47.997.419 |
| 2004 | 525.645 | 3.368.859 | 2.598.578 | 4.379 | 3.870.364 | 738.681 | 349.029 | 25.373 | 93.006 | 7.586 | 49.039.242 |
| 2005 | 512.507 | 3.347.061 | 2.845.900 | 5.004 | 3.893.208 | 738.749 | 339.599 | 24.544 | 88.485 | 8.362 | 50.081.064 |
| 2006 | 499.369 | 3.325.264 | 3.181.545 | 5.630 | 3.916.051 | 738.818 | 330.170 | 23.716 | 83.964 | 9.139 | 51.122.887 |
| 2007 | 486.231 | 3.303.466 | 3.292.707 | 6.255 | 3.938.895 | 738.887 | 320.740 | 22.887 | 79.443 | 9.915 | 52.164.709 |
| 2008 | 472.371 | 3.140.096 | 3.195.798 | 5.924 | 3.835.747 | 762.809 | 311.310 | 22.059 | 74.922 | 10.090 | 51.624.252 |
| 2009 | 458.511 | 2.976.726 | 3.098.423 | 5.594 | 3.732.598 | 786.730 | 301.881 | 21.230 | 70.401 | 10.266 | 51.083.795 |
| 2010 | 444.650 | 2.813.356 | 3.103.207 | 5.263 | 3.629.450 | 810.652 | 292.451 | 20.402 | 65.880 | 10.441 | 50.543.338 |
| 2011 | 430.790 | 2.649.985 | 3.212.654 | 4.932 | 3.553.858 | 729.311 | 283.022 | 19.573 | 61.359 | 10.616 | 50.916.835 |
| 2012 | 465.229 | 2.735.330 | 3.552.883 | 4.601 | 3.478.266 | 647.970 | 273.592 | 18.745 | 56.838 | 10.791 | 50.744.604 |

| Año | Vacas lecheras | Otros vacunos | Porcinos | Jabalíes | Ovinos | Caprinos | Equinos | Mulas y asnos | Camélidos | Ciervos | Aves de corral |
|------|----------------|---------------|-----------|----------|-----------|----------|---------|---------------|-----------|---------|----------------|
| 2013 | 499.667 | 2.820.675 | 3.181.492 | 4.271 | 3.402.673 | 566.630 | 264.162 | 17.916 | 62.629 | 10.967 | 53.309.261 |
| 2014 | 462.377 | 2.703.528 | 2.950.607 | 3.940 | 3.187.420 | 536.419 | 254.733 | 17.088 | 61.545 | 11.142 | 51.413.181 |
| 2015 | 425.087 | 2.586.380 | 3.077.966 | 3.609 | 2.972.167 | 506.208 | 245.303 | 16.281 | 61.607 | 11.317 | 55.179.368 |
| 2016 | 453.925 | 2.469.085 | 3.055.752 | 3.493 | 2.848.983 | 520.210 | 235.874 | 15.563 | 63.197 | 11.507 | 58.689.083 |
| 2017 | 482.763 | 2.351.790 | 2.949.592 | 3.587 | 2.725.799 | 534.211 | 226.444 | 14.845 | 64.787 | 11.696 | 62.198.934 |
| 2018 | 511.601 | 2.234.496 | 3.003.769 | 3.738 | 2.602.615 | 548.213 | 217.014 | 14.145 | 66.377 | 11.886 | 65.708.981 |

Fuente: Elaboración del Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con datos de ODEPA.

Figura 99. Sector Agricultura: variación porcentual de la población animal (%) por componente animal, al 2018 con respecto a 1990.



Fuente: Elaboración del Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.5. Ganado vacuno (3.A.1.)

5.2.5.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄, el cual se produce como subproducto de los procesos digestivos en vacunos.

En el contexto nacional, se incluyen en el INGEI de Chile diversas especies animales agrupadas en los siguientes componentes:

- Vacas lecheras y
- Otros vacunos (vacas carne, vaquillas, adultos carne, jóvenes carne y terneros)

5.2.5.2. Tendencia de las emisiones de GEI

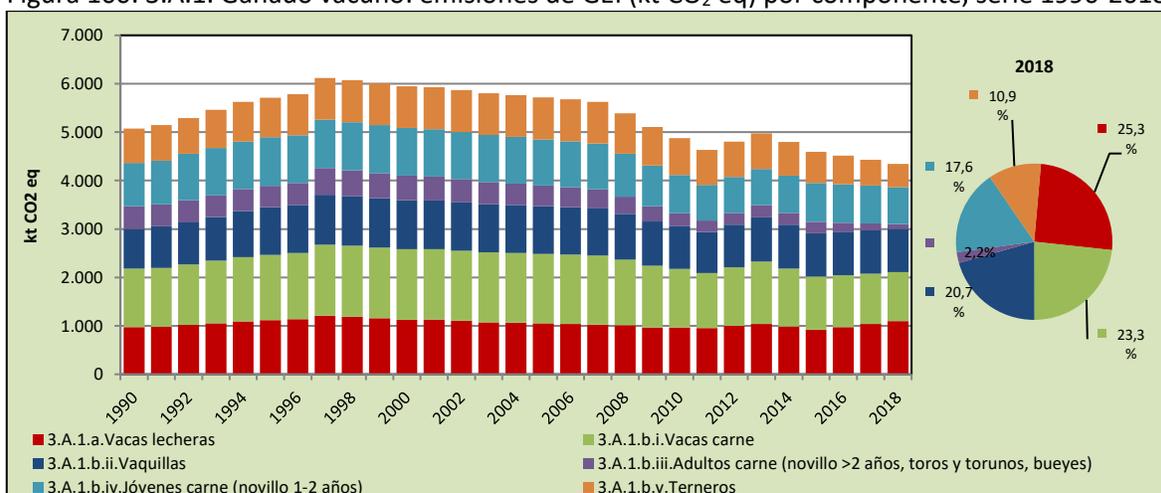
En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 4.343,7 kt CO₂ eq (representando el 87,4 % de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo en un 14,4 % desde 1990 y en un 3,8 % desde 2016 (Tabla 198 y Figura 1000). La principal causa en la tendencia y las variaciones interanuales es la baja en la población de la categoría otros vacunos que se viene observando desde 2007 hacia adelante.

Tabla 198. 3.A.1. Ganado vacuno: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 3.A.1.a. Vacas lecheras | 973,7 | 1.127,7 | 967,1 | 1.040,3 | 976,4 | 1.038,1 | 1.099,9 |
| 3.A.1.b.i. Vacas carne | 1.209,7 | 1.454,5 | 1206,6 | 1.284,5 | 1.067,0 | 1.038,5 | 1.009,9 |
| 3.A.1.b. ii. Vaquillas | 821,8 | 1.012,7 | 881,2 | 917,8 | 898,6 | 898,0 | 897,4 |
| 3.A.1.b.iii.Adultos carne | 465,7 | 507,8 | 274,5 | 251,1 | 189,7 | 143,3 | 96,9 |
| 3.A.1.b. iv. Jóvenes carne | 891,4 | 983,5 | 787,4 | 742,9 | 792,9 | 778,4 | 764,0 |
| 3.A.1.b.v. Terneros | 709,8 | 863,1 | 758,8 | 741,9 | 589,1 | 532,3 | 475,5 |
| Total | 5.072,1 | 5.949,4 | 4.875,6 | 4.978,4 | 4.513,7 | 4.428,7 | 4.343,7 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 100. 3.A.1. Ganado vacuno: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.5.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 2 para *Vacas lecheras* y *Otros vacunos* y los distintos componentes de esta. En la Tabla 199 se observa un resumen de los métodos aplicados por componente animal y por tipo de GEI.

Tabla 199. 3.A.1. Ganado vacuno: métodos aplicados por componente animal

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | Nivel metodológico | Factor de emisión | Nivel metodológico | Factor de emisión | Nivel metodológico | Factor de emisión |
| 3.A.1. Ganado vacuno | | | T2 | CS | | |
| 3.A.1.a. Vacas lecheras | | | T2 | CS | | |
| 3.A.1.b. Otros vacunos | | | T2 | CS | | |
| 3.A.1.b.i. Vacas carne | | | T2 | CS | | |
| 3.A.1.b. ii. Vaquillas | | | T2 | CS | | |
| 3.A.1.b.iii. Adultos carne | | | T2 | CS | | |
| 3.A.1.b.iii. Jóvenes carne | | | T2 | CS | | |
| 3.A.1.b.iii. Terneros | | | T2 | CS | | |

T2 = Nivel 2; CS = País específico.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Para aplicar el método Nivel 2, el *Ganado vacuno* fue desagregado en los siguientes dos grupos de animales: *Vacas lecheras* y *Otros vacunos*; a la vez, este último grupo fue desagregado en tipos de animales, según sexo y edad. Este método conduce a la generación de factores de emisión país específicos; en este caso, desagregados regional y anualmente. El cálculo de emisiones para esta subcategoría se realizó siguiendo las *Directrices del IPCC de 2006*.

Se aplicaron las ecuaciones que se basan en la multiplicación de los factores de emisión seleccionados por la población animal asociada (Ecuación 18) y luego se sumaron las distintas especies o categorías de ganado (Ecuación 19).

Ecuación 18. 3.A.1. Ganado vacuno: emisiones de CH₄ por componente animal

$$Emisiones_{(T)} = EF_{(T)} \times \left(\frac{N_{(T)}}{10^6} \right)$$

Fuente: Ecuación 10.19; Capítulo 10; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- Emisiones_(T) = emisiones de metano por fermentación entérica del ganado de la categoría T, kt CH₄ año⁻¹
- EF_(T) = factor de emisión para la población de ganado de la categoría T, kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹
- N_(T) = la cantidad de cabezas de ganado de la especie/categoría T del país cabeza año⁻¹
- T = especie/categoría de ganado

Ecuación 19. 3.A.1. Ganado vacuno: emisiones de CH₄ totales

$$Total\ CH_4\ Entérica = \sum_i E_i$$

Fuente: Ecuación 10.20; Capítulo 10; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- Total, CH_{4Entérica} = emisiones totales de metano por ganado vacuno, kt CH₄ año⁻¹
- E_i = emisiones de las *i* categorías y subcategorías de ganado

5.2.5.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

La población animal (cabezas/año) fue obtenida de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007*, de las estadísticas anuales o bienales publicadas por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Para más información ver de la sección 5.2.4. *Datos de actividad de la categoría*.

5.2.5.3.2. Factores de emisión

Para el *Ganado vacuno* se desarrollaron factores de emisión país específico. La fórmula utilizada para el cálculo de estos factores fue la Ecuación 10.21; cap. 10, Vol.4 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Un resumen de la ponderación de los factores de emisión para cada región del país, de acuerdo con la proporción de sistemas productivos pastoriles o confinados existentes en cada una de ellas se reporta en las Tabla 200, Tabla 201, Tabla 202, Tabla 203, Tabla 204 y Tabla 205.

Tabla 200. Factores de emisión país-específicos (Kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) para la estimación de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica de vacas lecheras en cada región del país

| Vacas Lecheras | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Todas las regiones del país | 78,45 | 77,60 | 87,53 | 84,24 | 87,36 | 87,36 | 87,36 |

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Dr. Francisco Lanuza, Dr. Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Dr. Héctor Manterola).

Tabla 201. Factores de emisión país-específicos (Kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) para la estimación de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica de vacas de carne en cada región del país

| Vacas Carne | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Todas las regiones del país | 64,40 | 61,13 | 58,03 | 57,14 | 56,25 | 56,25 | 56,25 |

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Dr. Francisco Lanuza, Dr. Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Dr. Héctor Manterola).

Tabla 202. Factores de emisión país-específicos (Kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) para la estimación de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica de vaquillas en cada región del país.

| Vaquillas | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Todas las regiones del país | 62,62 | 67,94 | 73,34 | 74,98 | 76,62 | 76,62 | 76,62 |

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Dr. Francisco Lanuza, Dr. Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Dr. Héctor Manterola).

Tabla 203. Factores de emisión país-específicos (Kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) para la estimación de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica de adultos carne en cada región del país

| Adultos Carne | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Todas las regiones del país | 84,18 | 85,28 | 86,39 | 86,72 | 87,06 | 87,06 | 87,06 |

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Dr. Francisco Lanuza, Dr. Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Dr. Héctor Manterola).

Tabla 204. Factores de emisión país-específicos (Kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) para la estimación de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica de jóvenes carne en cada región del país

| Jóvenes Carne | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Todas las regiones del país | 55,30 | 60,58 | 65,92 | 67,53 | 69,15 | 69,15 | 69,15 |

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Dr. Francisco Lanuza, Dr. Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Dr. Héctor Manterola).

Tabla 205. Factores de emisión país-específicos (Kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) para la estimación de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica de terneros en cada región del país

| Terneros | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Todas las regiones del país | 33,79 | 33,83 | 33,87 | 33,88 | 33,89 | 33,89 | 33,89 |

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Dr. Francisco Lanuza, Dr. Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Dr. Héctor Manterola).

En las Tabla 206 y Tabla 207 se muestra detalle de los valores utilizados para la determinación de la ingesta de energía bruta en el ganado bovino, para los años 1990 y 2018. Información que luego se

utiliza para estimar el factor de emisión específico con la Ecuación 10.21; Capítulo 10; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

Tabla 206. 3.A.1. Ganado vacuno: parámetros empleados en la determinación de la energía bruta en el ganado vacuno en pastoreo directo en 1990

| Grupos de animales | Peso en pie, kg | Cf-por defecto | Energía neta necesaria para mantenimiento (ENm) | Coefficiente de alimentación (Ca) | Energía neta para actividad (ENa) | Energía neta debida a pérdida de peso | Coefficiente de crecimiento | Peso corporal adulto, kg | Aumento de peso diario (kg día ⁻¹) | Energía neta para crecimiento (ENc) |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|-------------------------------------|
| Vacas lecheras en producción | 570 | 0,335 | 39,1 | 0,17 | 6,64 | 0 | 0,8 | 570 | 0 | 0 |
| Vacas lecheras secas | 600 | 0,335 | 40,6 | 0,17 | 6,9 | 0 | 0,8 | 600 | 0 | 0 |
| Vacas carne | 550 | 0,335 | 38 | 0,17 | 6,47 | 0 | 0,8 | 550 | 0 | 0 |
| Vaquillas | 370 | 0,322 | 27,2 | 0,17 | 4,62 | 0 | 0,8 | 370 | 0,44 | 10,58 |
| Adultos carne | 523 | 0,322 | 39,4 | 0,17 | 6,7 | 0 | 1 | 523 | 0,61 | 12,81 |
| Jóvenes carne | 323 | 0,322 | 22,6 | 0,17 | 3,85 | 0 | 0,9 | 323 | 0,38 | 8,25 |
| Terneros | 150 | 0,322 | 13,8 | 0,17 | 2,35 | 0 | 0,9 | 150 | 0,3 | 6,36 |
| Fuente | Juicio de experto | GL2006 | GL2006 | GL2006 | GL2006 | GL2006 | GL2006 | Juicio de experto | GL2006 | GL2006 |
| Grupos de animales | Coefficiente para la preñez | Energía neta para la preñez (ENp) | Productividad, kg leche/día | Grasa en la leche % | Energía para lactancia (ENl) | Energía neta para la labor | Relación en para mantenimiento o en dieta/E digestible consumida | Relación en para crecimiento en dieta/E digestible consumida | Digestibilidad de los alimentos (ED) | Energía bruta (EB) |
| Vacas lecheras en producción | 0,1 | 3,52 | 12,43 | 0,0381 | 18,5 | 0 | 0,5263 | 0,3188 | 67 | 191,9844 |
| Vacas lecheras secas | 0,1 | 3,66 | 0 | 0 | 3,8 | 0 | 0,5263 | 0,3188 | 67 | 155,9554 |
| Vacas carne | 0,1 | 3,8 | 2,57 | 0,03 | 3,8 | 0 | 0,523 | 0,3137 | 66 | 151,0471 |
| Vaquillas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5195 | 0,3085 | 65 | 146,8871 |
| Adultos carne | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5195 | 0,3085 | 65 | 200,477 |
| Jóvenes carne | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5195 | 0,3085 | 65 | 119,5321 |
| Terneros | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5195 | 0,3085 | 65 | 79,5529 |
| Fuente | GL2006 | GL2006 | Juicio de experto | Referencia* | GL2006 | GL2006 | GL2006 | GL2006 | Juicio de experto | GL2006 |

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Dr. Francisco Lanuza, Dr. Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Dr. Héctor Manterola) con base en las Directrices del IPCC de 2006.

*Calvache, I. (2009). Variación anual de la concentración de proteína y grasa láctea en rebaños lecheros del centro y sur de Chile (tesis magíster). Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia – Chile.

Tabla 207. 3.A.1. Ganado vacuno: parámetros empleados en la determinación de la energía bruta en el ganado vacuno en pastoreo directo 2018.

| Grupos de animales | Peso en pie, kg | Cf-por defecto | Energía neta necesaria para mantenimiento (ENm) | Coficiente de alimentación (Ca) | Energía neta para actividad (ENa) | Energía neta debida a pérdida de peso | Coficiente de crecimiento | Peso corporal adulto, kg | Aumento de peso diario (kg día-1) | Energía neta para crecimiento (ENc) |
|------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--|--|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Vacas lecheras en producción | 530 | 0,335 | 37 | 0,17 | 6,29 | 0 | 0,8 | 530 | 0 | 0 |
| Vacas lecheras secas | 560 | 0,335 | 38,6 | 0,17 | 6,56 | 0 | 0,8 | 560 | 0 | 0 |
| Vacas carne | 500 | 0,335 | 35,4 | 0,17 | 6,02 | 0 | 0,8 | 500 | 0 | 0 |
| Vaquillas | 380 | 0,322 | 27,7 | 0,17 | 4,71 | 0 | 0,8 | 380 | 0,67 | 16,78 |
| Adultos carne | 508 | 0,322 | 37,8 | 0,17 | 6,42 | 0 | 1 | 508 | 0,67 | 14,19 |
| Jóvenes carne | 358 | 0,322 | 24,4 | 0,17 | 4,14 | 0 | 0,9 | 358 | 0,47 | 10,33 |
| Terneros | 150 | 0,322 | 13,8 | 0,17 | 2,35 | 0 | 0,9 | 150 | 0,3 | 6,36 |
| Fuente | Juicio de experto | GL2006 | GL2006 | GL2006 | GL2006 | GL2006 | GL2006 | Juicio de experto | GL2006 | GL2006 |
| Grupos de animales | Coficiente para la preñez | Energía neta para la preñez (ENp) | Productividad, kg leche/día | Grasa en la leche % | Energía para lactancia (ENI) | Energía neta para la labor | Relación en para mantenimiento o en dieta/E digestible consumida | Relación en para crecimiento en dieta/E digestible consumida | Digestibilidad de los alimentos (ED) | Energía bruta (EB) |
| Vacas lecheras en producción | 0,1 | 3,33 | 20,63 | 0,0381 | 30,6 | 0 | 0,5325 | 0,3282 | 69 | 210,293 |
| Vacas lecheras secas | 0,1 | 3,47 | 0 | 0 | 3,8 | 0 | 0,5325 | 0,3282 | 69 | 142,6399 |
| Vacas carne | 0,1 | 3,54 | 2,57 | 0,03 | 3,8 | 0 | 0,5295 | 0,3236 | 68 | 135,5431 |
| Vaquillas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5195 | 0,3085 | 65 | 179,7135 |
| Adultos carne | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5195 | 0,3085 | 65 | 201,6297 |
| Jóvenes carne | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5195 | 0,3085 | 65 | 135,9279 |
| Terneros | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5195 | 0,3085 | 65 | 79,5529 |
| Fuente | GL2006 | GL2006 | Juicio de experto | Referencia* | GL2006 | GL2006 | GL2006 | GL2006 | Juicio de experto | GL2006 |

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Dr. Francisco Lanuza, Dr.Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Dr.Héctor Manterola) con base en las Directrices del IPCC de 2006.

*Calvache, I. (2009). Variación anual de la concentración de proteína y grasa láctea en rebaños lecheros del centro y sur de Chile (tesis magíster). Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia – Chile.

Con este tipo de información, se calcularon los factores de emisión por tipo de ganado, y región y por año, empleados para el cálculo de las emisiones por fermentación entérica de las vacas lecheras y otros vacunos. En el ANEXO 08.01 se presentan los factores de emisión país-específico, desagregados por región, por año y sistema de manejo del tipo de ganado bovino⁶⁹.

5.2.5.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, fue estimada para el CH₄ por componente del *Ganado vacuno*. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 208. 3.A.1. Ganado vacuno: resumen de la incertidumbre combinada en 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|--------------|--------------------|-----------------|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 3.A.1.a. | Vacas lecheras | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 20,0% | 20,0% | 48,2% | 48,2% |
| 3.A.1.b.i. | Vacas carne | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 20,0% | 20,0% | 48,2% | 48,2% |
| 3.A.1.b.ii. | Vaquillas | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 20,0% | 20,0% | 48,2% | 48,2% |
| 3.A.1.b.iii. | Adultos carne | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 20,0% | 20,0% | 48,2% | 48,2% |
| 3.A.1.b.iii. | Jóvenes carne | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 20,0% | 20,0% | 48,2% | 48,2% |
| 3.A.1.b.iii. | Terneros | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 20,0% | 20,0% | 48,2% | 48,2% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.2.5.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018, se construyó la serie de datos de actividad con la información de los *Censos Agropecuarios* y de los informes y encuestas anuales y bianuales generados por ODEPA. Para los años en los cuales no se contó con información estadística y/o paramétrica, se realizaron interpolaciones lineales. Para completar el último año de la serie temporal se procedió a realizar una extrapolación lineal con respecto a los últimos dos años (2016 y 2017).

5.2.5.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.2.5.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se aplicó la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

⁶⁹ Con base en el juicio experto de Marta Alfaro, Francisco Salazar, Sergio Iruira y Francisco Lanuza (investigadores de INIA-Remehue) y Héctor Manterola (Universidad de Chile) y con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomatizada, directamente desde su fuente de origen cuando fue posible, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- En los casos que la digitación fue manual, se realizó una verificación cruzada entre miembros del equipo compilador del ISGEI.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada “FE_DA_Ganado”, que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.
- Los cálculos realizados fueron revisados de manera cruzada entre integrantes del equipo de trabajo sectorial.

5.2.5.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector Agricultura, el Equipo Técnico de Agricultura ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo 2020_SGCC_3AGRI.

5.2.5.6.3. Verificación

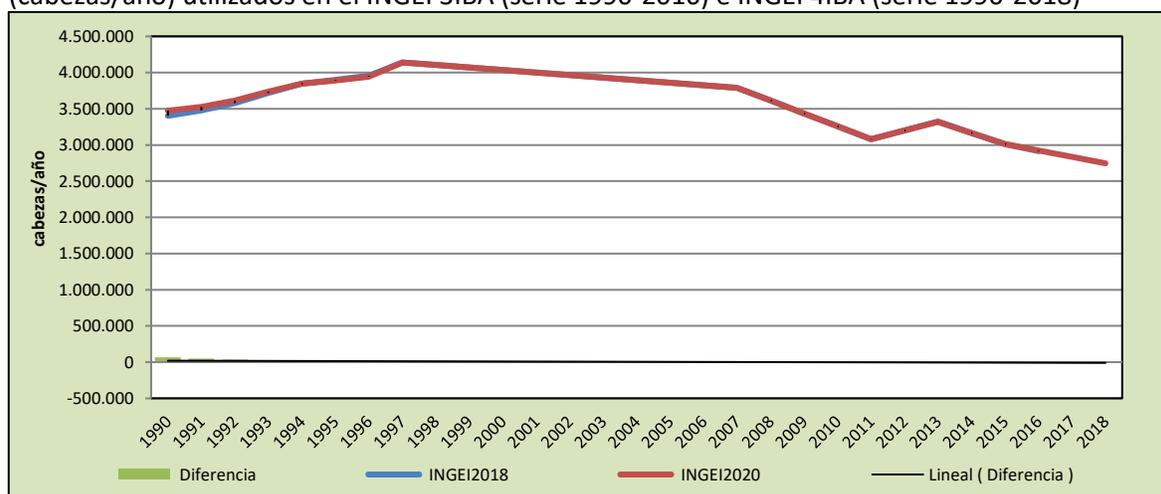
Se realizó una verificación de los datos de población animal y los factores de emisión empleados en comparación con los valores empleados en el INGEI 3IBA. Esto adquiere especial relevancia asociado al ajuste en poblaciones animales de *Ganado vacuno* (Tabla 209 y Figura 101). Dada la mayor disponibilidad de información en encuestas anuales y bienales generadas por ODEPA, se contó con mejor y más información para la actualización de la serie temporal 1990-2018.

Tabla 209. 3.A.1. Ganado vacuno: comparación de los datos de población de Ganado vacuno (cabezas/año) utilizados en el INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| INGEI 3IBA | 3.403.850 | 4.034.246 | 3.257.021 | 3.321.246 | 2.915.079 | | |
| INGEI 4IBA | 3.470.837 | 4.034.246 | 3.258.006 | 3.320.342 | 2.923.011 | 2.834.554 | 2.746.097 |
| Diferencia | 66.987,1 | - | 984,8 | 903,7 | 7.931,7 | | |
| Diferencia % | 1,9% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,3% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA

Figura 101. 3.A.1. Ganado vacuno: comparación de los datos de población de ganado vacuno (cabezas/año) utilizados en el INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

5.2.5.7. Recálculos

5.2.5.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se realizaron correcciones en la estimación de los factores de emisión del ganado vacuno (lechero y no lechero), que fueron actualizados para toda la serie temporal y regiones, para ganado en pastoreo como en confinamiento. Adicionalmente, se actualizó la estimación de para la nueva región de Ñuble para toda la serie temporal. Esto obligó al recálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero de la serie temporal completa del ganado vacuno.

5.2.5.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

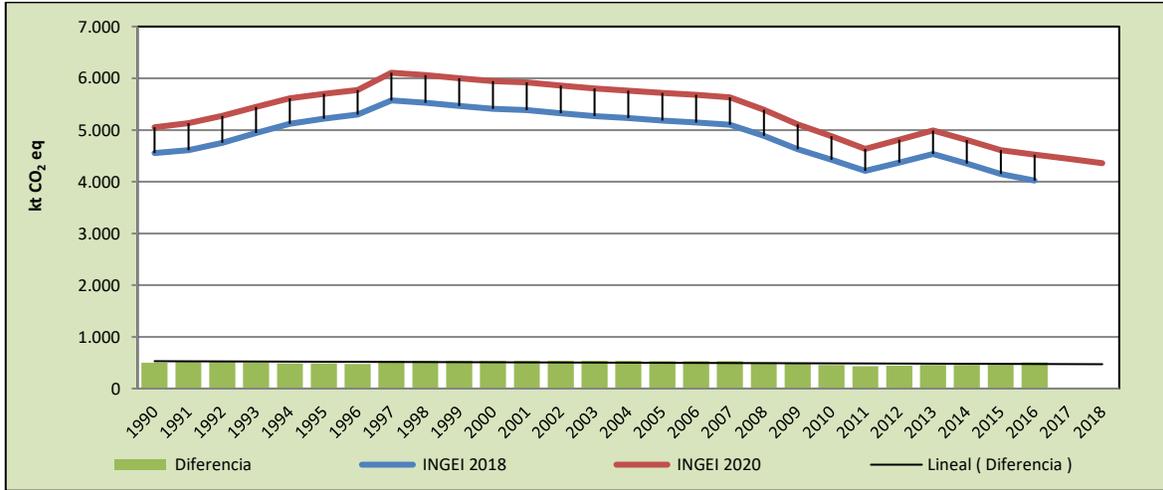
En la Tabla 210 y 0 Figura 102 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La variación en las emisiones de GEI que se puede observar entre ambos inventarios se atribuye a los ajustes realizados al balance másico (distribución porcentual regional del ganado vacuno con respecto al pastoreo directo versus confinamiento), generando cambios en los factores de emisiones anuales para cada subcategoría de vacunos. Esto generó un incremento de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 505,7 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 210. 3.A.1 Ganado vacuno: comparación entre emisiones (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| INGEI 3IBA | 4.556,3 | 5.406,4 | 4.423,7 | 4.535,0 | 4.022,0 | | |
| INGEI 4IBA | 5.072,1 | 5.949,4 | 4.875,6 | 4.978,4 | 4.513,7 | 4.428,7 | 4.343,7 |
| Diferencia | 515,9 | 542,9 | 451,9 | 443,4 | 491,7 | | |
| Diferencia % | 10,2% | 9,1% | 9,3% | 8,9% | 10,9% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

Figura 102. 3.A.1 Ganado vacuno: comparación entre emisiones (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA.

5.2.5.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Se continuará avanzando en la consulta a entidades no gubernamentales (asociaciones gremiales, instituciones, etc.) que pudieran poseer datos paramétricos relevantes para la validación de los factores de emisión país específico.
- INIA ha ejecutado proyectos de investigación (FONDECYT) para estimar el Y en sistemas de vacas lecheras en pastoreo. Se evaluará la factibilidad de emplear la información generada en la estimación de FE país específicos.

5.2.6. Ovinos (3.A.2.)

5.2.6.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄ producido en el proceso digestivos en ovinos.

5.2.6.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 325,3 kt CO₂ eq, representando el 6,5 % de las emisiones de GEI de la categoría y disminuyendo en un 45,7 % desde 1990, y en un 8,6 % desde 2016 (Figura 98 y Tabla 195). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la baja en la población que se debe a su vez a una caída en el precio de la lana a nivel internacional, que afectó de manera directa a la producción ovina, en particular en la región de Magallanes y Antártica Chilena, principal zona productora ovina a nivel nacional.

5.2.6.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 1. Para su aplicación basta conocer las poblaciones por especie, las que se multiplican por los factores de emisión por defecto correspondientes.

Tabla 211. 3.A.2. Ovinos: métodos aplicados a la subcategoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | Nivel metodológico | Factor de emisión | Nivel metodológico | Factor de emisión | Nivel metodológico | Factor de emisión |
| 3.A.2.c. Ovinos | | | T1 | D | | |

T1 = Nivel 1; D = Por defecto.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.2.6.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

La población animal (cabezas/año) fue obtenida de los *Censos Agropecuarios y Forestales* para 1997 y 2007 y encuestas realizadas en 2010, 2013, 2015 y 2017, publicadas por ODEPA (Tabla 197).

5.2.6.3.2. Factores de emisión

Para estas especies, se utilizaron los factores de emisión por defecto para países en desarrollo proporcionados por las *Directrices del IPCC de 2006* del Cuadro 10.10; Capítulo 10; Volumen 4; correspondiente a 5 kg CH₄*animal⁻¹*año⁻¹

5.2.6.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2016, ha sido estimada para cada GEI de cada componente animal, empleando un Nivel 1. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 212. 3.A.2. Ovinos: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------|-----------------|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 3.A.2. | Ovinos | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 30,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.2.6.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión, y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Se

realizaron interpolaciones y extrapolaciones, cuando no se contaba con datos para un o varios años en específico.

5.2.6.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.2.6.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada “FE_DA_Ganado”, que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.2.6.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las

recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo 2020_SGCC_3AGRI.

5.2.6.6.3. Verificación

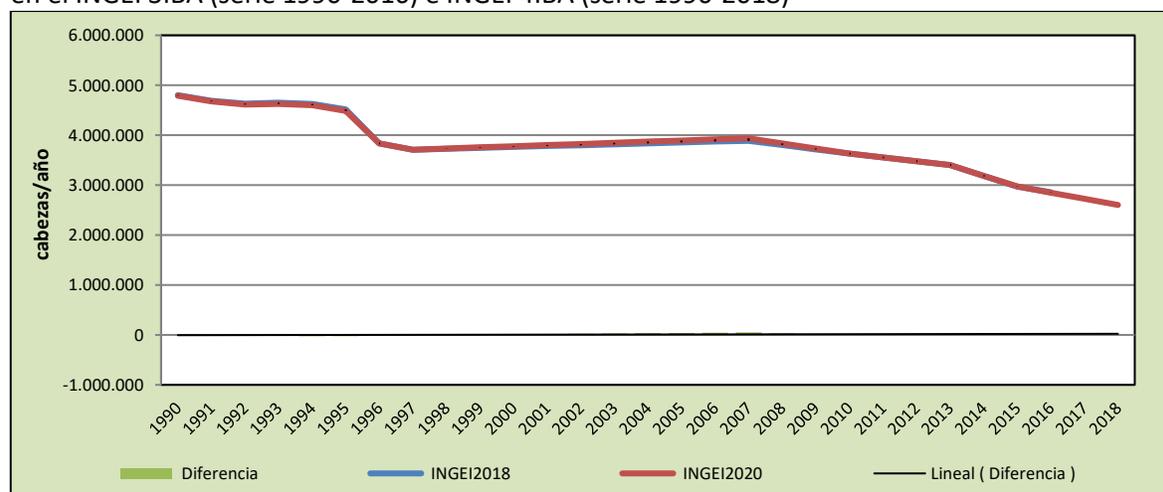
Se empleó el mismo proceso de verificación explicado en la sección 5.2.5.6.3. *Verificación de Ganado vacuno*. Se observaron pocas diferencias en la población de ganado ovino entre ambos inventarios. Las principales diferencias a los nuevos datos obtenidos por parte de ODEPA (Tabla 213 y Figura 103) en años recientes.

Tabla 213. 3.A.2. Ovinos: comparación de los datos de población de ovinos (cabezas/año) utilizados en el INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| INGEI 3IBA | 4.800.930 | 3.763.867 | 3.628.840 | 3.402.128 | 2.857.135 | | |
| INGEI 4IBA | 4.789.389 | 3.778.990 | 3.629.450 | 3.402.674 | 2.848.983 | 2.725.799 | 2.602.615 |
| Diferencia | - | 15.123,2 | 609,9 | 546,1 | 8.152,0 | | |
| Diferencia % | -0,2% | 0,4% | 0,0% | 0,0% | -0,3% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

Figura 103. 3.A.2. Ovinos: comparación de los datos de población de ovinos (cabezas/año) utilizados en el INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base INGEI 3IBA e INGEI 4IBA.

5.2.6.7. Recálculos

5.2.6.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría se realizaron mejoras metodológicas a la base de población animal. En esta oportunidad se utilizaron los datos nacionales provenientes de los Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007 y de las encuestas realizadas por ODEPA en los años 2010, 2013, 2015 y 2017. Esto último generó un leve ajuste de la población animal en 2016.

5.2.6.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 214 y Figura 104 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe principalmente al ajuste de los

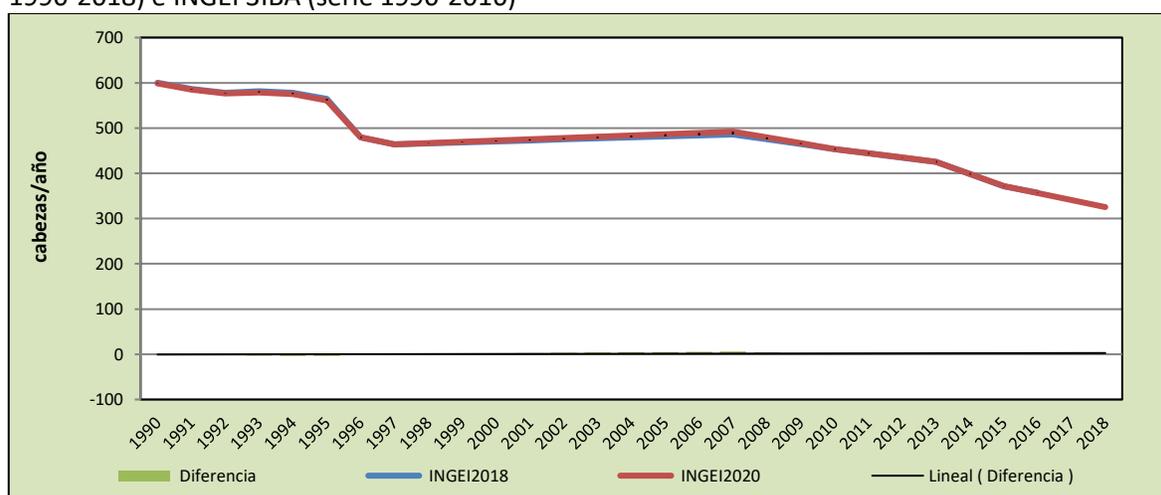
datos de actividad en la población animal, esto generó una pequeña disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 1,0 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 214. 3.A.2. Ovinos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|
| INGEI 3IBA | 600 | 470 | 454 | 425 | 357 | | |
| INGEI 4IBA | 599 | 471 | 446 | 418 | 351 | 336 | 323 |
| Diferencia | -1,4 | 0,5 | -7,6 | -7,3 | -6,4 | | |
| Diferencia % | -0,2% | 0,1% | -1,7% | -1,7% | -1,8% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA

Figura 104. 3.A.2. Ovinos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2016 e INGEI 3IBA

5.2.6.8. Plan de mejoramiento

Dado que esta subcategoría animal no es una categoría clave en el ISGEI, no se consideran mejoramientos específicos. La realización del CENSO agropecuario en el primer semestre de 2021 ofrece oportunidades para mejorar la precisión en los números de población empleados.

5.2.7. Porcinos (3.A.3.)

5.2.7.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄, el cual se produce como subproducto de los procesos digestivos en porcinos, considerando marranas, verracos y juveniles.

5.2.7.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 112,6 kt CO₂ eq, representando el 2,3 % de las emisiones de GEI de la categoría, incrementándose en un 198,1 % desde 1990, y una disminución de un 1,7 % desde 2016 (Tabla 215 y Figura 105). La principal causante de la tendencia

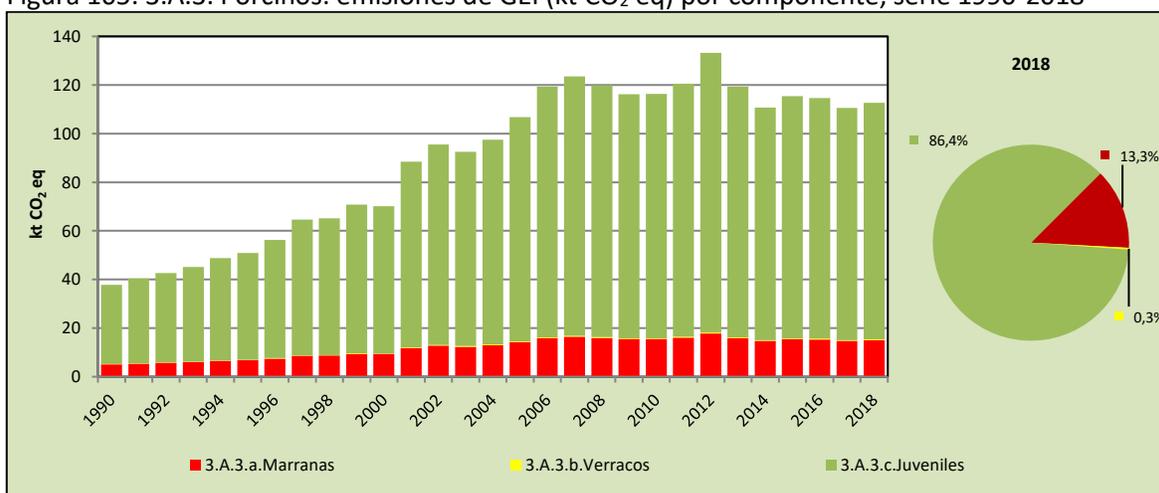
y las variaciones interanuales es la variación en la población de porcinos, con un aumento sostenido entre 1997 y 2007, para luego decaer en los siguientes años debido al cierre de varios planteles⁷⁰, un ejemplo de ello fue el cierre del centro de producción (2012) ubicado cerca de Freirina en la IV región de Chile, que contaba con alrededor de 500 mil cerdos.

Tabla 215. 3.A.3. Porcinos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 3.A.3.a.Marranas | 5,0 | 9,3 | 15,5 | 15,9 | 15,3 | 14,8 | 15,0 |
| 3.A.3.b. Verracos | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| 3.A.3.c. Juveniles | 32,6 | 60,5 | 100,5 | 103,0 | 99,0 | 95,5 | 97,3 |
| Total | 37,8 | 70,1 | 116,4 | 119,3 | 114,6 | 110,6 | 112,6 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Figura 105. 3.A.3. Porcinos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.7.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 1. Para su aplicación basta conocer la población animal por componente, que se multiplican por los factores de emisión por defecto correspondientes. En la Tabla 216 se observa un resumen de los métodos aplicados por componente animal y por tipo de GEI.

Tabla 216. 3.A.3. Porcinos: métodos aplicados por componente animal

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | Nivel metodológico | Factor de emisión | Nivel metodológico | Factor de emisión | Nivel metodológico | Factor de emisión |
| 3.A.3.a. Marranas | | | T1 | D | | |
| 3.A.3.b. Verracos | | | T1 | D | | |
| 3.A.3.c. Juveniles | | | T1 | D | | |

T1 = Nivel 1; D = Por defecto

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

⁷⁰ Comunicación directa con Renzo Boccanegra (ASPROCER).

5.2.7.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

La población animal (cabezas/año) fue obtenida de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007* y de las estadísticas anuales publicadas por ASPROCER (Asociación Gremial de Productores de Cerdos de Chile), para más información ver sección 5.2.4. *Datos de actividad de la categoría* (Tabla 197). Respecto de la distribución de población por región, ASPROCER señaló que la distribución de la población de porcinos entre la región Metropolitana y la Región de O'Higgins es prácticamente la misma, lo que difiere de la estadística nacional. Según este juicio experto, la diferencia con la estadística nacional corresponde a que cuando se hace el cálculo y contabilidad por parte de la entidad nacional de estadística, se toma en cuenta el destino final por el faenamiento de los porcinos y no la ubicación de los planteles.

5.2.7.3.2. Factores de emisión

Para estas especies, se utilizaron los factores de emisión por defecto proporcionados por las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 217). Se seleccionaron los valores de factor de emisión para países en desarrollo, dado que la mayor masa animal y de producción porcina del país ubicada en la zona central (regiones de O'Higgins (84%) y Valparaíso y Metropolitana (8%)⁷¹), corresponde a sistemas de producción intensivos, de tamaño y manejo industriales, muy semejantes a los sistemas norteamericanos de producción (Ej. Canadienses).

Tabla 217. 3.A.3. Porcinos: factores de emisión por componente (kg CH₄*animal⁻¹*año⁻¹)

| Especie animal | Factores de Emisión (kg CH ₄ animal ⁻¹ año ⁻¹) |
|----------------|--|
| Marranas | 1,5 |
| Verracos | 1,5 |
| Juveniles | 1,5 |

Fuente: Cuadro 10.10; Capítulo 10; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

5.2.7.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para cada componente animal aplicando el método Nivel 1. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 218. 3.A.3. Porcinos: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------|-----------------|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 3.A.3.a. | Marranas | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 30,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |
| 3.A.3. b. | Verracos | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 30,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |
| 3.A.3. c. | Juveniles | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 30,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.2.7.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos, para toda

⁷¹ Acuña, D. y Pizarro, M. 2019. La industria porcina en Chile: oportunidades y desafíos para la sustentabilidad. Oficina de Estudio y Políticas Agrarias (ODEPA), Chile. 14p.

la serie. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, por ejemplo, debido a la inclusión de la Región de Ñuble, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.2.7.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.2.7.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Ganado", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización que forman parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.2.7.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las

recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo 2020_SGCC_3AGRI. Un resumen del estado de avance de cada recomendación se encuentra en el ANEXO 11.02.

5.2.7.6.3. Verificación

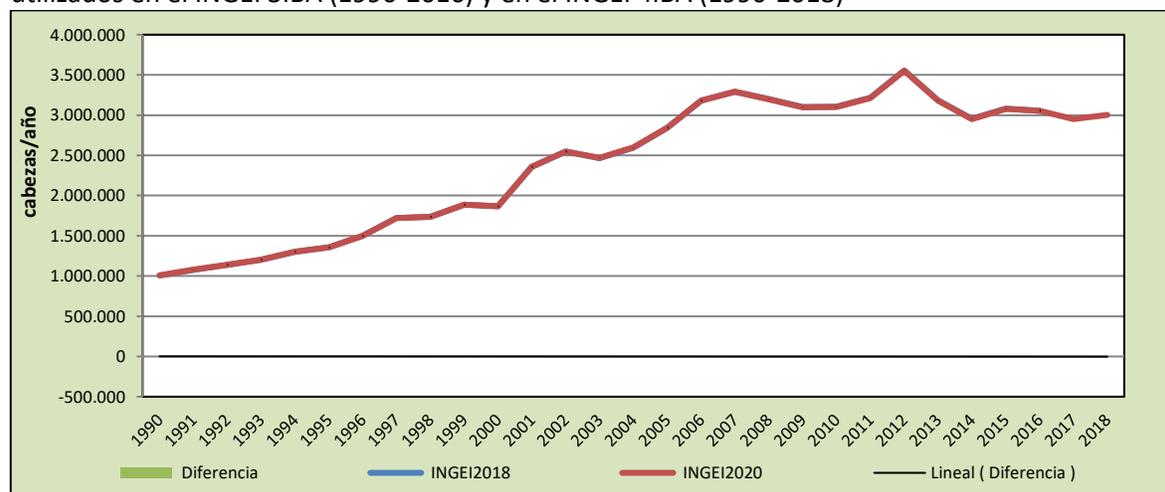
Se empleó el mismo proceso de verificación explicado para la sección 5.2.5.6.3. *Verificación de Ganado vacuno*. En el INGEI anterior se utilizó como base de la población animal los datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadística (INE). En esta oportunidad se utilizaron los datos nacionales provenientes de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007* e información entregada por ASPROCER, mejorando con ello las estimaciones de CH₄. En la Tabla 219 y Figura 106 se observa que los datos de población utilizados en ambos inventarios siguen una tendencia similar y presenta pocas variaciones significativas.

Tabla 219. 3.A.3. Porcinos: comparación de los datos de población de Porcinos (cabezas/año) utilizados en el INGEI 3IBA (1990-2016) y en el INGEI 4IBA (1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| INGEI 3IBA | 1.007.445 | 1.868.054 | 3.106.162 | 3.184.447 | 3.054.447 | | |
| INGEI 4IBA | 1.007.722 | 1.869.273 | 3.103.208 | 3.181.492 | 3.055.752 | 2.949.592 | 3.003.769 |
| Diferencia | 276,9 | 1.219,4 | -2.953,7 | -2.954,5 | 1.305,1 | | |
| Diferencia % | 0,0% | 0,1% | -0,1% | -0,1% | 0,0% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA.

Figura 106. 3.A.3. Porcinos: comparación de los datos de población de Porcinos (cabezas/año) utilizados en el INGEI 3IBA (1990-2016) y en el INGEI 4IBA (1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2016 e INGEI 3IBA

5.2.7.7. Recálculos

5.2.7.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

En el INGEI anterior se utilizó como base de la población animal los datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadística (INE). En esta oportunidad se utilizaron los datos nacionales provenientes de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007* e información entregada por ASPROCER, modificándose la distribución de las cabezas de ganado porcino en las regiones Metropolitana y O'Higgins, de acuerdo con lo reportado por ASPROCER.

5.2.7.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

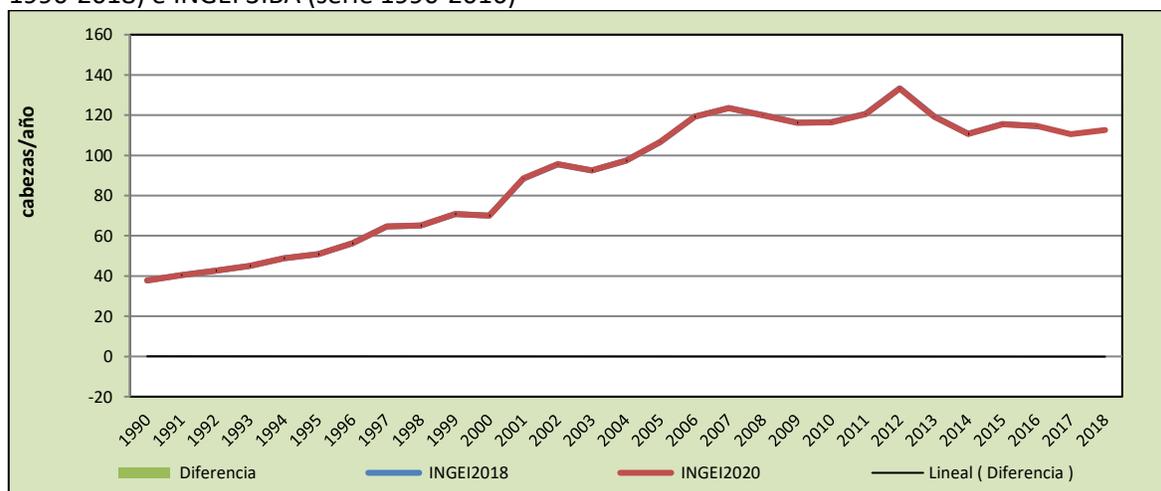
En la Tabla 220 y Figura 107 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia, que es muy baja, se debe principalmente al ajuste de los datos de actividad en la población animal. Esto generó un leve aumento de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 0,05 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 220. 3.A.3. Porcinos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| INGEI 3IBA | 38 | 70 | 116 | 119 | 115 | | |
| INGEI 4IBA | 38 | 71 | 117 | 120 | 115 | 111 | 113 |
| Diferencia | 0,0 | 0,9 | 0,5 | 0,6 | 0,0 | | |
| Diferencia % | 0,0% | 1,3% | 0,4% | 0,5% | 0,0% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2016 e INGEI 3IBA.

Figura 107. 3.A.3. Porcinos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

5.2.7.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Se continuará colaborando con ASPROCER para la recopilación y validación de datos paramétricos.

5.2.8. Otras especies (3.A.4.)

5.2.8.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄, el cual se produce como subproducto de los procesos digestivos de otras especies de menor participación en la población animal nacional. Las especies consideradas son las siguientes:

- Caprinos;
- Equinos;
- Mulas y asnos;
- Aves de corral;
- Camélidos (llamas y alpacas);
- Ciervos, y;
- Jabalíes.

5.2.8.2. Tendencia de las emisiones de GEI

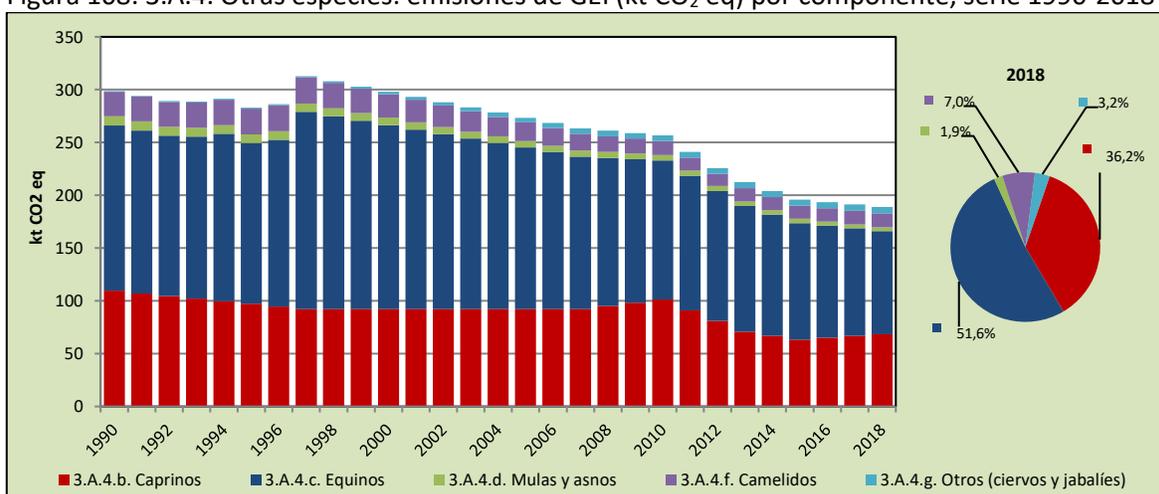
En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 189,1 kt CO₂ eq (representando el 3,8 % de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo en un 36,7 % desde 1990 y en un 2,3 % desde 2018 (Tabla 221 y Figura 108).

Tabla 221. 3.A.4. Otras especies: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 3.A.4.b. Caprinos | 109,6 | 92,3 | 101,3 | 70,8 | 65,0 | 66,8 | 68,5 |
| 3.A.4.c. Equinos | 156,4 | 174,0 | 131,6 | 118,9 | 106,1 | 101,9 | 97,7 |
| 3.A.4.d. Mulas y asnos | 8,9 | 7,2 | 5,1 | 4,5 | 3,9 | 3,7 | 3,5 |
| 3.A.4.f. Camélidos (llamas y alpacas) | 23,0 | 22,2 | 13,2 | 12,5 | 12,6 | 13,0 | 13,3 |
| 3.A.4.g. Otros (ciervos y jabalíes) | 0,7 | 2,3 | 5,4 | 5,6 | 5,9 | 6,0 | 6,1 |
| Total | 298,6 | 298,0 | 256,6 | 212,3 | 193,6 | 191,3 | 189,1 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Figura 108. 3.A.4. Otras especies: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.2.8.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 1. Para su aplicación basta conocer las poblaciones por especie, las que se multiplican por los factores de

emisión por defecto correspondientes. En la Tabla 222 se observa un resumen de los métodos aplicados por componente y por tipo de GEI.

Tabla 222. 3.A.4. Otras especies: métodos aplicados por componente animal

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | Nivel metodológico | Factor de emisión | Nivel metodológico | Factor de emisión | Nivel metodológico | Factor de emisión |
| 3.A.4. Otras especies | | | T1, NO, NE | D, NO, NE | | |
| 3.A.4.a. Búfalos | | | NO | NO | | |
| 3.A.4.b. Caprinos | | | T1 | D | | |
| 3.A.4.c. Equinos | | | T1 | D | | |
| 3.A.4.d. Mulas y asnos | | | T1 | D | | |
| 3.A.4.e. Aves de corral | | | NE | NE | | |
| 3.A.4.f. Camélidos | | | T1 | D | | |
| 3.A.4.g. Otras especies | | | T1 | D | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.2.8.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

La población animal (cabezas/año) fue obtenida de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007*, y de las estadísticas anuales publicadas por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Para más información ver sección 5.2.4. *Datos de actividad de la categoría*.

5.2.8.3.2. Factores de emisión

Para estas especies, se utilizaron los factores de emisión por defecto proporcionados por las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 223), para países en desarrollo.

Tabla 223. 3.A.4. Otras especies: factores de emisión por defecto por especie animal (kg CH₄ animal⁻¹ año⁻¹)

| Especie animal | Factores de Emisión (kg CH ₄ animal ⁻¹ año ⁻¹) |
|-----------------------------------|--|
| Caprinos | 5 |
| Camélidos (alpacas) ⁷² | 8 |
| Equinos | 18 |
| Mulas y asnos | 10 |
| Aves de corral | Sin datos suficiente para cálculos |
| Jabalíes ⁷³ | 1,5 |
| Ciervos | 20 |

Fuente: Cuadro 10.10; Capítulo 10; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

⁷² Se utilizó el factor de emisión nivel 1 corresponde a Alpacas, según las Directrices del IPCC de 2006, debido a que según juicio experto este valor refleja la realidad de los camélidos nacionales.

⁷³ Al no contar con un factor de emisión determinado, para jabalíes, y según juicio experto, se utilizó para el presente inventario, el factor de emisión nivel 1 de cerdos para países desarrollados que representaría la realidad de esta especie en el país.

5.2.8.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para cada GEI de cada componente animal empleando el método nivel 1. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 224. 3.A.4. Otras especies: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|------------------------------|-----------------|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 3.A.4. b. | Caprinos | CH ₄ | 43,8% | 43,8% | 30,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |
| 3.A.4. c. | Equinos | CH ₄ | 43,8% | 43,8% | 30,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |
| 3.A.4. d. | Mulas y asnos | CH ₄ | 43,8% | 43,8% | 30,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |
| 3.A.4. f. | Camélidos (llamas y alpacas) | CH ₄ | 43,8% | 43,8% | 50,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |
| 3.A.4. g.i. | Ciervos | CH ₄ | 50,5% | 50,5% | 50,0% | 30,0% | 66,5% | 53,1% |
| 3.A.4.g.ii | Jabalíes | CH ₄ | 50,5% | 50,5% | 50,0% | 30,0% | 71,1% | 58,7% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.2.8.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad. Y al igual que la consistencia realizada para ganado bovino, se completaron los años donde no se contaba con datos estadísticos, mediante extrapolaciones e interpolaciones lineales. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.2.8.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.2.8.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Ganado", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

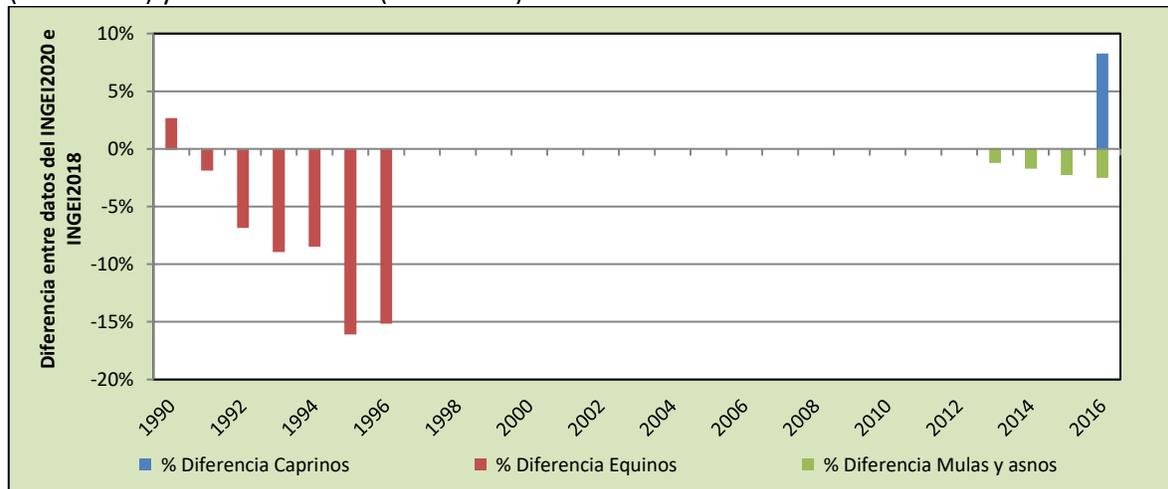
5.2.8.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*.

5.2.8.6.3. Verificación

Se empleó el mismo proceso de verificación explicado para la sección 1.2.5.6.1. *Verificación de Ganado vacuno*. Como se observa en la Figura 109 algunas poblaciones estaban sobreestimadas mientras que otras subestimadas. En base a esto, se concluye que es importante mejorar y continuar utilizando la estadística nacional a pesar de las brechas que puedan existir en ciertos años de la serie temporal.

Figura 109. 3.A.4. Otras especies: comparación de los datos de población utilizados en el INGEI 3IBA (1990-2016) y en el INGEI 4IBA (1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

5.2.8.7. Recálculos

5.2.8.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría se realizaron mejoras metodológicas a la base de población animal, principalmente. En esta oportunidad se utilizaron los datos nacionales provenientes de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007* y de las *Encuestas Bianuales* que realiza ODEPA, mejorando con ello las estimaciones de CH₄.

5.2.8.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

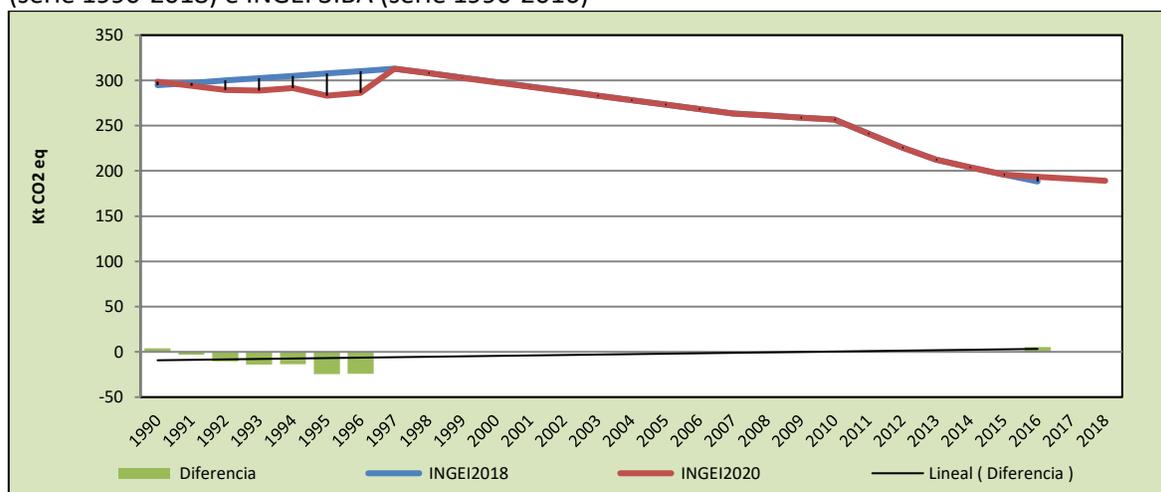
En la Tabla 225 y Figura 110 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe principalmente al ajuste de los datos de actividad en la población animal. Esto generó una leve disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 4,1 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 225. 3.A.4. Otras especies: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 3IBA (serie 1990-2016) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| INGEI 3IBA | 294,6 | 298,1 | 256,6 | 212,4 | 188,3 | | |
| INGEI 4IBA | 298,6 | 298,0 | 256,6 | 212,3 | 193,6 | 191,3 | 189,1 |
| Diferencia | 4,0 | -0,1 | 0,0 | -0,1 | 5,3 | | |
| Diferencia % | 1,4% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 2,7% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

Figura 110. 3.A.4. Otras especies: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2016 e INGEI 3IBA

5.2.8.8. Plan de mejoramiento

No se consideran mejoras para esta categoría dado que no es una categoría clave para las emisiones de GEI del sector.

5.3. Gestión del estiércol (3.B.)

5.3.1. Descripción de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones de CH₄ y N₂O (directas e indirectas) generadas por los sistemas de producción animal, en particular, la de los sistemas para el almacenamiento del estiércol.

En el contexto nacional, ambas subcategorías se incluyen en el INGEI de Chile agrupadas en los siguientes componentes:

- Ganado vacuno (incluye ganado lechero y otros vacunos, ambos desagregados por edad);
- Ovinos (ovejas);
- Caprinos (cabras);
- Camélidos (incluye como población única a llamas y alpacas);
- Equinos (caballos);
- Mulas y asnos;
- Porcinos (cerdos desagregados por edad); y
- Aves de corral (incluye como población única a gallinas ponedoras y de carne, patos, pavos y otras aves de corral).
- Jabalíes
- Ciervos

5.3.2. Tendencia de las emisiones de GEI

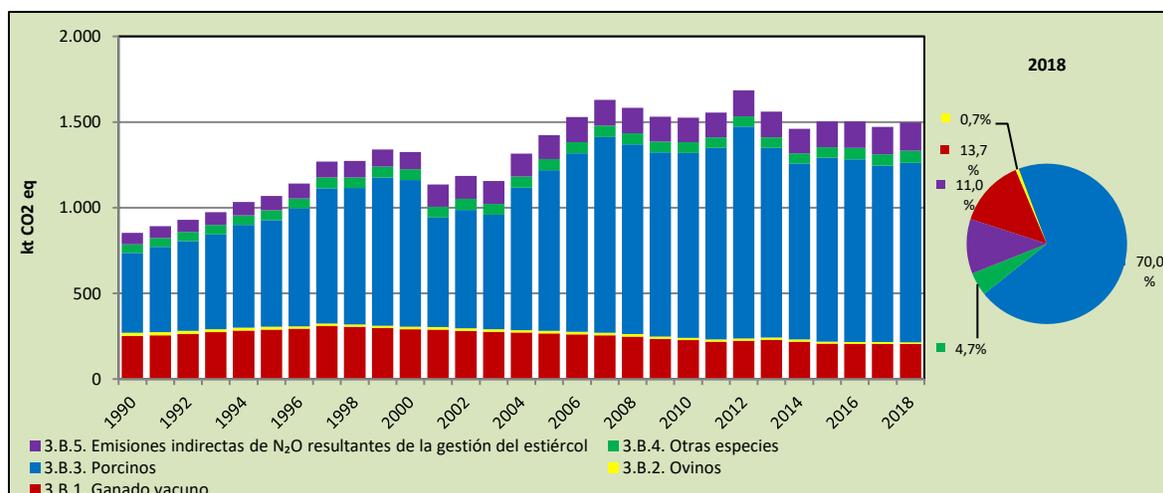
La categoría *Gestión del estiércol* es la tercera categoría emisora de GEI del sector *Agricultura*, representando el 12,7 % de las emisiones de GEI del sector. En 2018, sus emisiones de GEI contabilizaron 1.624,8 kt CO₂ eq, incrementándose en un 75,8 % desde 1990 y disminuyendo en un 0,3 % desde 2016. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales corresponde a la variación en población animal y cambios en los factores de emisión del ganado vacuno no lechero, y aumento de la población de porcinos y aves.

Tabla 226. 3.B. Gestión del estiércol: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 3.B.1. Ganado vacuno | 251,7 | 291,1 | 227,1 | 229,3 | 205,9 | 205,2 | 204,5 |
| 3.B.2. Ovinos | 18,0 | 14,2 | 13,6 | 12,8 | 10,7 | 10,2 | 9,8 |
| 3.B.3. Porcinos | 465,8 | 855,7 | 1.079,0 | 1.106,2 | 1.066,2 | 1.029,2 | 1.048,1 |
| 3.B.4. Otras especies | 51,2 | 63,2 | 62,2 | 62,1 | 65,3 | 68,0 | 70,8 |
| 3.B.5. Emisiones indirectas de N ₂ O resultantes de la gestión del estiércol | 65,7 | 101,2 | 143,7 | 150,2 | 154,7 | 158,4 | 165,1 |
| Total | 852,3 | 1.325,3 | 1.525,6 | 1.560,6 | 1.502,8 | 1.471,1 | 1.498,3 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Figura 111. 3.B. Gestión del estiércol: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de *Ganado vacuno* y *Porcinos* se aplicó el método Nivel 2 y el método Nivel 1 para las restantes especies animales. En el caso de las emisiones de N₂O se aplicó el método Nivel 1 para todas las especies animales. La población animal empleada es la misma utilizada para la *Fermentación entérica*. En la Tabla 227 se observa un resumen de los métodos aplicados por componente animal y por tipo de GEI.

Tabla 227. 3.B. Gestión del estiércol: métodos aplicados por subcategoría

| Código o IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|---------------|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.B | Gestión del estiércol | | | T1, T2, NO | CS, D, NO | T1, T2, NO | CS, D, NO |
| 3.B.1. | Ganado vacuno | | | T2 | CS | T2 | CS |
| 3.B.2. | Ovinos | | | T1 | D | T1 | D |
| 3.B.3. | Porcinos | | | T2 | CS | T1 | D |
| 3.B.4. | Otras especies | | | T1, NO | D, NO | T1, NO | D, NO |
| 3.B.5. | Emisiones Ind. de N ₂ O por gestión del estiércol | | | | | T1 | D |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.4. Datos de actividad de la categoría

Ganado y otras especies

Los datos de actividad de cada especie fueron los mismos utilizados para la estimación de las emisiones por *Fermentación entérica* (3.A.).

Porcinos

La desagregación de la población de *Porcinos* entre los diferentes sistemas de gestión del estiércol (SGE) fue aportada por profesionales de ASPROCER.

Sistemas de gestión del estiércol de vacunos

Para el ganado vacuno, la asignación de la población a los sistemas de gestión del estiércol (SGE) se realizó con base en el juicio experto⁷⁴.

Tasas de excreción de nitrógeno

Un dato paramétrico importante para estimar las emisiones de N₂O corresponde a la tasa anual de excreción de nitrógeno por especie animal. Estas tasas fueron calculadas aplicando los valores de excreción por día por cada 1.000 kg de peso vivo, en línea con las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 10.19; Capítulo 10; Volumen 4) y multiplicándolas por la masa corporal animal determinada según juicio de experto⁷⁵ (Tabla 228). Las tasas del ganado vacuno se detallan en la sección correspondiente (Tabla 231).

Tabla 228. 3.B. Gestión del estiércol: tasas de excreción de nitrógeno (kg N (1.000 kg masa animal)¹ día⁻¹) serie 1990-2018.

| Especie animal | Tasa de excreción de N (kg N 1.000 kg peso vivo-día ⁻¹) | Peso corporal promedio (kg peso vivo cabeza ⁻¹) | Excreción de N (kg N animal-año ⁻¹) |
|------------------|--|--|--|
| Ovinos | 1,17 | 60,00 | 25,60 |
| Caprinos | 1,37 | 50,00 | 25,00 |
| Llamas y Alpacas | 0,46 | 95,00 | 16,00 |
| Equinos | 0,46 | 450,00 | 75,60 |
| Mulas y Asnos | 0,46 | 237,50 | 39,90 |
| Porcinos | | | |
| Verracos | 0,50 | 120,00 | 21,90 |
| Marranas | 0,50 | 100,00 | 18,25 |
| Juveniles | 0,50 | 49,60 | 9,05 |
| Aves de corral | 0,82 | 2,50 | 0,70 |
| Jabalíes | 1,57 | 100,00 | 54,31 |
| Ciervos | 0,46 | 450,00 | 75,56 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en valores por defecto de las Directrices del IPCC de 2006. Cuadro 10.19; Capítulo 10; Volumen 4 y juicio experto.

5.3.5. Ganado vacuno (3.B.1.)

5.3.5.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄ y N₂O generadas por la descomposición del estiércol bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas del ganado vacuno. Cabe destacar, que los sistemas de producción bovina en Chile son basados principalmente en pastoreo directo, en especial para bovinos no lecheros, y por ende las emisiones de fecas y orina son consideradas bajo la categoría de gestión de suelos agrícolas. En el caso de vacas lecheras existe desde confinamiento total a parcial, en donde sistemas netamente pastoriles generan también estiércol líquido el cual es producido durante los tiempos de ordeña, manejándose principalmente en laguna anaeróbica⁷⁶.

⁷⁴ Investigadores de INIA-Remehue. Dres. Marta Alfaro y Francisco Salazar

⁷⁵ Investigadores de INIA-Remehue (Dres. Sergio Iraira y Francisco Lanuza) e INIA Rayentué (Sr. Marcelo Quezada), y profesionales de ASPROCER (Sr. Renzo Boccanegra y Sra. Daniela Álvarez)

⁷⁶ Salazar, F. 2012. Manual de manejo y utilización de purines de lechería. Consorcio Lechero (Chile). 116p.

5.3.5.2. Tendencia de las emisiones de GEI

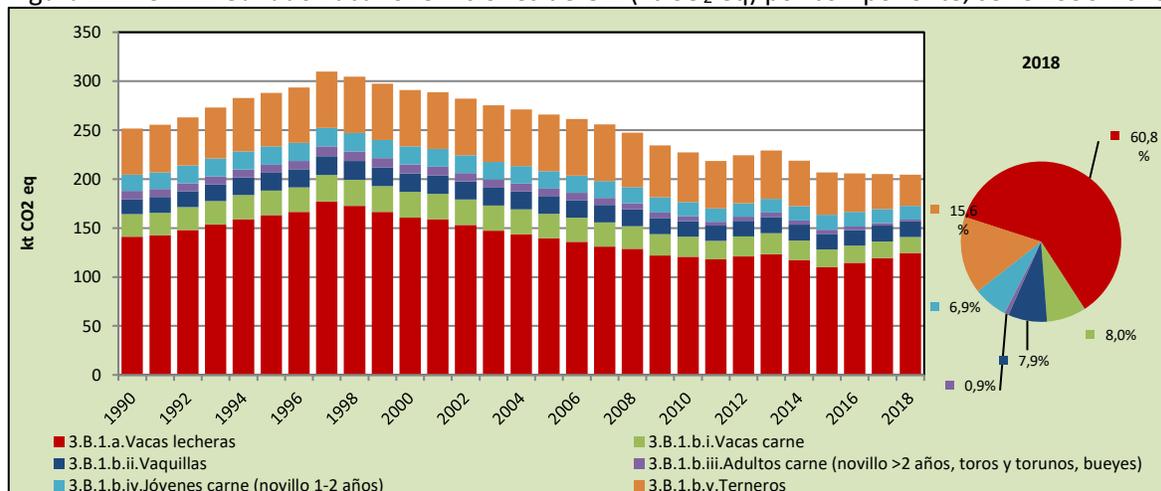
En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 204,5 kt CO₂ eq, representando el 13,7 % de las emisiones de GEI de la categoría y disminuyendo en un 18,7 % desde 1990, y en un 07 % desde 2016 (Tabla 229 y Figura 112). Esta baja variación puede ser explicada porque la mayor variación de la masa ganadera se ha producido en la categoría bovinos no lechero, los cuales son producidos principalmente a pradera, y sus emisiones por fecas y orina son consideradas en la categoría de suelos agrícolas.

Tabla 229. 3.B.1. Ganado vacuno: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 3.B.1.a.Vacas lecheras | 141,2 | 160,8 | 120,6 | 123,3 | 114,4 | 119,4 | 124,5 |
| 3.B.1.b.i. Vacas carne | 22,8 | 26,3 | 20,4 | 21,4 | 17,4 | 16,9 | 16,3 |
| 3.B.1.b.ii. Vaquillas | 15,3 | 18,8 | 16,0 | 16,7 | 16,2 | 16,1 | 16,1 |
| 3.B.1.b.iii.Adultos carne | 8,4 | 9,2 | 4,9 | 4,5 | 3,4 | 2,6 | 1,7 |
| 3.B.1.b. iv. Jóvenes carne | 16,8 | 18,4 | 14,6 | 13,8 | 14,9 | 14,5 | 14,1 |
| 3.B.1.b.v. Terneros | 47,1 | 57,6 | 50,6 | 49,7 | 39,6 | 35,7 | 31,9 |
| Total | 251,7 | 291,1 | 227,1 | 229,3 | 205,9 | 205,2 | 204,5 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Figura 112. 3.B.1. Ganado vacuno: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.3.5.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para las emisiones de CH₄ y de N₂O se aplicó un método Nivel 2 debido a que esta especie tiene una participación mayoritaria en las emisiones de la subcategoría. El método Nivel 2 implica la desagregación de la población animal en grupos homogéneos y la utilización de factores de emisión país específico. Para la estimación de las emisiones de N₂O de los sistemas de gestión del estiércol, el ganado vacuno fue asignado a diferentes SGE según las características de los sistemas productivos de cada región administrativa del país; esta asignación se hizo por juicio de experto ya que el país no cuenta con datos estadísticos. En la Tabla 230 se observa un resumen de los métodos aplicados por componente animal y por tipo de GEI.

Tabla 230. 3.B.1. Ganado vacuno: métodos aplicados por componente animal

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--------------|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.B.1.a. | Vacas lecheras | | | T2 | CS | T2 | CS |
| 3.B.1. b.i. | Vacas carne | | | T2 | CS | T2 | CS |
| 3.B.1.b.ii. | Vaquillas | | | T2 | CS | T2 | CS |
| 3.B.1.b.iii. | Adultos carne | | | T2 | CS | T2 | CS |
| 3.B.1.b.iv. | Jóvenes carne | | | T2 | CS | T2 | CS |
| 3.B.1. b.v. | Terneros | | | T2 | CS | T2 | CS |

T2 = Nivel 2; CS = País específico

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.3.5.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

La población animal (cabezas/año) fue obtenida de la misma forma que para fermentación entérica. Para más información ver 5.2.4.

5.3.5.3.2. Datos de actividad de la categoría

La asignación de la fracción de población animal a los distintos SGE, se realizó con base en juicio experto (planilla FE_DA_Ganado, hoja DdA Parametricos)⁷⁷. Un dato paramétrico importante para estimar las emisiones de N₂O corresponde a la tasa anual de excreción de nitrógeno por especie animal. Estas tasas fueron calculadas aplicando los valores de excreción por día por cada 1.000 kg de peso vivo, en línea con las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 10.19; Capítulo 10; Volumen 4) y multiplicándolas por la masa corporal animal determinada en forma dinámica para el período 1990-2018, según juicio de experto⁷⁸ (Tabla 231 y Tabla 232).

Tabla 231. 3.B.1. Ganado vacuno: tasas de excreción de nitrógeno (kg N (1.000 kg masa animal)⁻¹ año⁻¹) para Ganado Bovino en pastoreo, empleadas en la serie 1990-2018

| Año | Vacas lecheras en producción | Vacas lecheras secas | Vacas carne | Vaquillas | Adultos carne | Jóvenes carne | Terneros |
|------|------------------------------|----------------------|-------------|-----------|---------------|---------------|----------|
| 1990 | 99,86 | 105,12 | 72,27 | 48,62 | 68,72 | 42,44 | 19,71 |
| 1991 | 99,59 | 104,85 | 72,02 | 48,67 | 68,65 | 42,62 | 19,71 |
| 1992 | 99,32 | 104,58 | 71,76 | 48,72 | 68,57 | 42,80 | 19,71 |
| 1993 | 99,06 | 104,31 | 71,51 | 48,77 | 68,49 | 42,97 | 19,71 |
| 1994 | 98,79 | 104,04 | 71,26 | 48,82 | 68,42 | 43,15 | 19,71 |
| 1995 | 98,52 | 103,77 | 71,01 | 48,87 | 68,34 | 43,33 | 19,71 |
| 1996 | 98,25 | 103,50 | 70,75 | 48,92 | 68,27 | 43,50 | 19,71 |
| 1997 | 97,98 | 103,23 | 70,50 | 48,97 | 68,19 | 43,68 | 19,71 |
| 1998 | 97,71 | 102,96 | 70,25 | 49,02 | 68,12 | 43,86 | 19,71 |
| 1999 | 97,44 | 102,69 | 70,00 | 49,07 | 68,04 | 44,03 | 19,71 |
| 2000 | 97,17 | 102,42 | 69,74 | 49,12 | 67,96 | 44,21 | 19,71 |
| 2001 | 96,90 | 102,16 | 69,49 | 49,17 | 67,89 | 44,39 | 19,71 |
| 2002 | 96,63 | 101,89 | 69,24 | 49,22 | 67,81 | 44,56 | 19,71 |
| 2003 | 96,36 | 101,62 | 68,99 | 49,28 | 67,74 | 44,74 | 19,71 |
| 2004 | 96,09 | 101,35 | 68,73 | 49,33 | 67,66 | 44,92 | 19,71 |
| 2005 | 95,82 | 101,08 | 68,48 | 49,38 | 67,59 | 45,10 | 19,71 |

⁷⁷ Investigadores de INIA-Remehue (Dres Marta Alfaro y Francisco Salazar)

⁷⁸ Investigadores de INIA-Remehue (Dres Sergio Iraira y Francisco Lanuza) y de la Universidad de Chile (Héctor Manterola)

| | | | | | | | |
|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2006 | 95,55 | 100,81 | 68,23 | 49,43 | 67,51 | 45,27 | 19,71 |
| 2007 | 95,28 | 100,54 | 67,97 | 49,48 | 67,43 | 45,45 | 19,71 |
| 2008 | 95,01 | 100,27 | 67,72 | 49,53 | 67,36 | 45,63 | 19,71 |
| 2009 | 94,74 | 100,00 | 67,47 | 49,58 | 67,28 | 45,80 | 19,71 |
| 2010 | 94,47 | 99,73 | 67,22 | 49,63 | 67,21 | 45,98 | 19,71 |
| 2011 | 94,20 | 99,46 | 66,96 | 49,68 | 67,13 | 46,16 | 19,71 |
| 2012 | 93,93 | 99,19 | 66,71 | 49,73 | 67,05 | 46,33 | 19,71 |
| 2013 | 93,66 | 98,92 | 66,46 | 49,78 | 66,98 | 46,51 | 19,71 |
| 2014 | 93,40 | 98,65 | 66,21 | 49,83 | 66,90 | 46,69 | 19,71 |
| 2015 | 93,13 | 98,38 | 65,95 | 49,88 | 66,83 | 46,86 | 19,71 |
| 2016 | 92,86 | 98,11 | 65,70 | 49,93 | 66,75 | 47,04 | 19,71 |
| 2017 | 92,86 | 98,11 | 65,70 | 49,93 | 66,75 | 47,04 | 19,71 |
| 2018 | 92,86 | 98,11 | 65,70 | 49,93 | 66,75 | 47,04 | 19,71 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en valores por defecto de las Directrices del IPCC de 2006 y juicio experto

Tabla 232. 3.B.1. Ganado vacuno: tasas de excreción de nitrógeno (kg N (1.000 kg masa animal)⁻¹ año⁻¹) para Ganado Bovino en confinamiento, empleadas en la serie temporal 1990-2018

| Año | Vacas lecheras en producción | Vacas lecheras secas | Vacas carne | Vaquillas | Adultos carne | Jóvenes carne | Terneros |
|------|------------------------------|----------------------|-------------|-----------|---------------|---------------|----------|
| 1990 | 110,38 | 112,13 | 72,27 | 53,87 | 74,90 | 42,44 | 19,71 |
| 1991 | 110,68 | 112,67 | 72,02 | 53,82 | 75,15 | 42,43 | 19,76 |
| 1992 | 110,98 | 113,21 | 71,76 | 53,77 | 75,40 | 42,41 | 19,81 |
| 1993 | 111,29 | 113,75 | 71,51 | 53,72 | 75,66 | 42,40 | 19,86 |
| 1994 | 111,59 | 114,28 | 71,26 | 53,67 | 75,91 | 42,38 | 19,91 |
| 1995 | 111,89 | 114,82 | 71,01 | 53,62 | 76,16 | 42,37 | 19,96 |
| 1996 | 112,20 | 115,36 | 70,75 | 53,57 | 76,41 | 42,35 | 20,01 |
| 1997 | 112,50 | 115,90 | 70,50 | 53,52 | 76,67 | 42,34 | 20,06 |
| 1998 | 112,80 | 116,44 | 70,25 | 53,47 | 76,92 | 42,32 | 20,11 |
| 1999 | 113,11 | 116,98 | 70,00 | 53,42 | 77,17 | 42,31 | 20,16 |
| 2000 | 113,41 | 117,52 | 69,74 | 53,37 | 77,42 | 42,29 | 20,22 |
| 2001 | 113,71 | 118,06 | 69,49 | 53,32 | 77,68 | 42,28 | 20,27 |
| 2002 | 114,01 | 118,60 | 69,24 | 53,27 | 77,93 | 42,26 | 20,32 |
| 2003 | 114,32 | 119,14 | 68,99 | 53,22 | 78,18 | 42,25 | 20,37 |
| 2004 | 114,62 | 119,68 | 68,73 | 53,17 | 78,44 | 42,23 | 20,42 |
| 2005 | 114,92 | 120,21 | 68,48 | 53,12 | 78,69 | 42,21 | 20,47 |
| 2006 | 115,23 | 120,75 | 68,23 | 53,07 | 78,94 | 42,20 | 20,52 |
| 2007 | 115,53 | 121,29 | 67,97 | 53,01 | 79,19 | 42,18 | 20,57 |
| 2008 | 115,83 | 121,83 | 67,72 | 52,96 | 79,45 | 42,17 | 20,62 |
| 2009 | 116,14 | 122,37 | 67,47 | 52,91 | 79,70 | 42,15 | 20,67 |
| 2010 | 116,44 | 122,91 | 67,22 | 52,86 | 79,95 | 42,14 | 20,72 |
| 2011 | 116,74 | 123,45 | 66,96 | 52,81 | 80,20 | 42,12 | 20,77 |
| 2012 | 117,05 | 123,99 | 66,71 | 52,76 | 80,46 | 42,11 | 20,82 |
| 2013 | 117,35 | 124,53 | 66,46 | 52,71 | 80,71 | 42,09 | 20,87 |
| 2014 | 117,65 | 125,07 | 66,21 | 52,66 | 80,96 | 42,08 | 20,92 |
| 2015 | 117,96 | 125,60 | 65,95 | 52,61 | 81,22 | 42,06 | 20,97 |
| 2016 | 118,26 | 126,14 | 65,70 | 52,56 | 81,47 | 42,05 | 21,02 |
| 2017 | 118,26 | 126,14 | 65,70 | 52,56 | 81,47 | 42,05 | 21,02 |
| 2018 | 118,26 | 126,14 | 65,70 | 52,56 | 81,47 | 42,05 | 21,02 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en valores por defecto de las Directrices del IPCC de 2006 y juicio experto

5.3.5.3.3. Factores de emisión

Los factores de emisión país específicos empleados para la estimación de la emisión de CH₄ por la gestión del estiércol para el *Ganado vacuno* se obtuvieron en base a la Ecuación 10.23 del Capítulo 10, Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006* y utilizando juicio experto⁷⁹. Estos factores se estiman por tipo de ganado, modelo de gestión del ganado y ubicación geográfica. Los valores utilizados por región y año se encuentran en el ANEXO 08.01, mientras que los valores promedios por categoría animal se presentan en las Tabla 233, Tabla 234, Tabla 235, Tabla 236, Tabla 237 y Tabla 238.

Tabla 233. Factores de emisión país-específicos (Kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) (promedio), para la estimación de la emisión de CH₄ de la subcategoría “3.B. Gestión del estiércol” para vacas lecheras.

| Vacas lecheras | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Arica y Parinacota | 8,16 | 16,31 | 18,50 | 17,86 | 18,53 | 18,53 | 18,53 |
| Tarapacá | 16,31 | 16,31 | 18,50 | 17,86 | 18,53 | 18,53 | 18,53 |
| Antofagasta | 16,31 | 16,31 | 18,50 | 17,86 | 18,53 | 18,53 | 18,53 |
| Atacama | 16,31 | 16,31 | 18,50 | 17,86 | 18,53 | 18,53 | 18,53 |
| Coquimbo | 24,06 | 24,16 | 27,48 | 26,56 | 27,59 | 27,59 | 27,59 |
| Valparaíso | 22,80 | 22,88 | 26,02 | 25,14 | 26,11 | 26,11 | 26,11 |
| Metropolitana | 22,80 | 22,88 | 26,02 | 25,14 | 26,11 | 26,11 | 26,11 |
| O'Higgins | 24,06 | 24,16 | 27,49 | 26,57 | 27,59 | 27,59 | 27,59 |
| Maule | 24,06 | 24,16 | 27,49 | 26,57 | 27,59 | 27,59 | 27,59 |
| Ñuble | 12,47 | 12,46 | 14,12 | 13,63 | 14,14 | 14,14 | 14,14 |
| Bío Bío | 12,47 | 12,46 | 14,12 | 13,63 | 14,14 | 14,14 | 14,14 |
| La Araucanía | 8,36 | 8,31 | 9,38 | 9,04 | 9,37 | 9,37 | 9,37 |
| Los Ríos | 8,65 | 8,61 | 9,72 | 9,37 | 9,71 | 9,71 | 9,71 |
| Los Lagos | 4,25 | 4,16 | 4,63 | 4,44 | 4,59 | 4,59 | 4,59 |
| Aysén | 4,25 | 4,16 | 4,63 | 4,44 | 4,59 | 4,59 | 4,59 |
| Magallanes | 4,25 | 4,16 | 4,63 | 4,44 | 4,59 | 4,59 | 4,59 |

Fuente: Juicio experto de investigadores de INIA-Remehue y Universidad de Chile.

Tabla 234. Factores de emisión país-específicos (Kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) (promedio) para la estimación de la emisión de CH₄ de la subcategoría “3.B. Gestión del estiércol” para vacas carne.

| Vacas carnes | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Arica y Parinacota | 1,60 | 1,46 | 1,33 | 1,29 | 1,26 | 1,26 | 1,26 |
| Tarapacá | 1,60 | 1,46 | 1,33 | 1,29 | 1,26 | 1,26 | 1,26 |
| Antofagasta | 1,60 | 1,46 | 1,33 | 1,29 | 1,26 | 1,26 | 1,26 |
| Atacama | 1,60 | 1,46 | 1,33 | 1,29 | 1,26 | 1,26 | 1,26 |
| Coquimbo | 1,60 | 1,46 | 1,33 | 1,29 | 1,26 | 1,26 | 1,26 |
| Valparaíso | 1,60 | 1,46 | 1,33 | 1,29 | 1,26 | 1,26 | 1,26 |
| Metropolitana | 1,60 | 1,46 | 1,33 | 1,29 | 1,26 | 1,26 | 1,26 |
| O'Higgins | 1,60 | 1,46 | 1,33 | 1,29 | 1,26 | 1,26 | 1,26 |
| Maule | 1,60 | 1,46 | 1,33 | 1,29 | 1,26 | 1,26 | 1,26 |
| Ñuble | 1,06 | 0,97 | 0,89 | 0,86 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |
| Bío Bío | 1,06 | 0,97 | 0,89 | 0,86 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |

⁷⁹ Marta Alfaro, Francisco Salazar, Sergio Iraira y Francisco Lanuza (investigadores de INIA-Remehue) y Héctor Manterola (Universidad de Chile) con base en las *Directrices del IPCC de 2006*

| | | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| La Araucanía | 1,06 | 0,97 | 0,89 | 0,86 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |
| Los Ríos | 1,06 | 0,97 | 0,89 | 0,86 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |
| Los Lagos | 1,06 | 0,97 | 0,89 | 0,86 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |
| Aysén | 1,06 | 0,97 | 0,89 | 0,86 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |
| Magallanes | 1,06 | 0,97 | 0,89 | 0,86 | 0,84 | 0,84 | 0,84 |

Fuente: Juicio experto de investigadores de INIA-Remehue y Universidad de Chile.

Tabla 235. Factores de emisión país-específicos (Kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) (promedio) para la estimación de la emisión de CH₄ de la subcategoría 3.B. Gestión del estiércol para vaquillas.

| Vaquillas | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Arica y Parinacota | 1,60 | 1,73 | 1,87 | 1,91 | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| Tarapacá | 1,60 | 1,73 | 1,87 | 1,91 | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| Antofagasta | 1,60 | 1,73 | 1,87 | 1,91 | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| Atacama | 1,60 | 1,73 | 1,87 | 1,91 | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| Coquimbo | 1,60 | 1,73 | 1,87 | 1,91 | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| Valparaíso | 1,60 | 1,73 | 1,87 | 1,91 | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| Metropolitana | 1,60 | 1,73 | 1,87 | 1,91 | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| O'Higgins | 1,60 | 1,73 | 1,87 | 1,91 | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| Maule | 1,60 | 1,73 | 1,87 | 1,91 | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| Ñuble | 1,07 | 1,16 | 1,25 | 1,28 | 1,30 | 1,30 | 1,30 |
| Bío Bío | 1,07 | 1,16 | 1,25 | 1,28 | 1,30 | 1,30 | 1,30 |
| La Araucanía | 1,07 | 1,16 | 1,25 | 1,28 | 1,30 | 1,30 | 1,30 |
| Los Ríos | 1,07 | 1,16 | 1,25 | 1,28 | 1,30 | 1,30 | 1,30 |
| Los Lagos | 1,07 | 1,16 | 1,25 | 1,28 | 1,30 | 1,30 | 1,30 |
| Aysén | 1,07 | 1,16 | 1,25 | 1,28 | 1,30 | 1,30 | 1,30 |
| Magallanes | 1,07 | 1,16 | 1,25 | 1,28 | 1,30 | 1,30 | 1,30 |

Fuente: Juicio experto de investigadores de INIA-Remehue y Universidad de Chile.

Tabla 236. Factores de emisión país-específicos (Kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) (promedio) para la estimación de la emisión de CH₄ de la subcategoría 3.B. Gestión del estiércol para adultos carne.

| Adultos carne | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Arica y Parinacota | 2,15 | 2,18 | 2,21 | 2,21 | 2,22 | 2,22 | 2,22 |
| Tarapacá | 2,15 | 2,18 | 2,21 | 2,21 | 2,22 | 2,22 | 2,22 |
| Antofagasta | 2,15 | 2,18 | 2,21 | 2,21 | 2,22 | 2,22 | 2,22 |
| Atacama | 2,15 | 2,18 | 2,21 | 2,21 | 2,22 | 2,22 | 2,22 |
| Coquimbo | 2,15 | 2,18 | 2,21 | 2,21 | 2,22 | 2,22 | 2,22 |
| Valparaíso | 2,15 | 2,18 | 2,21 | 2,21 | 2,22 | 2,22 | 2,22 |
| Metropolitana | 2,15 | 2,18 | 2,21 | 2,21 | 2,22 | 2,22 | 2,22 |
| O'Higgins | 2,15 | 2,18 | 2,21 | 2,21 | 2,22 | 2,22 | 2,22 |
| Maule | 2,15 | 2,18 | 2,21 | 2,21 | 2,22 | 2,22 | 2,22 |
| Ñuble | 1,43 | 1,45 | 1,47 | 1,48 | 1,48 | 1,48 | 1,48 |
| Bío Bío | 1,43 | 1,45 | 1,47 | 1,48 | 1,48 | 1,48 | 1,48 |
| La Araucanía | 1,43 | 1,45 | 1,47 | 1,48 | 1,48 | 1,48 | 1,48 |
| Los Ríos | 1,43 | 1,45 | 1,47 | 1,48 | 1,48 | 1,48 | 1,48 |
| Los Lagos | 1,43 | 1,45 | 1,47 | 1,48 | 1,48 | 1,48 | 1,48 |
| Aysén | 1,43 | 1,45 | 1,47 | 1,48 | 1,48 | 1,48 | 1,48 |
| Magallanes | 1,43 | 1,45 | 1,47 | 1,48 | 1,48 | 1,48 | 1,48 |

Fuente: Juicio experto de investigadores de INIA-Remehue y Universidad de Chile.

Tabla 237. Factores de emisión país-específicos (Kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) (promedio) para la estimación de la emisión de CH₄ de la subcategoría “3.B. Gestión del estiércol” para jóvenes carne.

| Jóvenes carne | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Arica y Parinacota | 1,41 | 1,55 | 1,68 | 1,72 | 1,77 | 1,77 | 1,77 |
| Tarapacá | 1,41 | 1,55 | 1,68 | 1,72 | 1,77 | 1,77 | 1,77 |
| Antofagasta | 1,41 | 1,55 | 1,68 | 1,72 | 1,77 | 1,77 | 1,77 |
| Atacama | 1,41 | 1,55 | 1,68 | 1,72 | 1,77 | 1,77 | 1,77 |
| Coquimbo | 1,41 | 1,55 | 1,68 | 1,72 | 1,77 | 1,77 | 1,77 |
| Valparaíso | 1,41 | 1,55 | 1,68 | 1,72 | 1,77 | 1,77 | 1,77 |
| Metropolitana | 1,41 | 1,55 | 1,68 | 1,72 | 1,77 | 1,77 | 1,77 |
| O'Higgins | 1,41 | 1,55 | 1,68 | 1,72 | 1,77 | 1,77 | 1,77 |
| Maule | 1,41 | 1,55 | 1,68 | 1,72 | 1,77 | 1,77 | 1,77 |
| Ñuble | 0,94 | 1,03 | 1,12 | 1,15 | 1,18 | 1,18 | 1,18 |
| Bío Bío | 0,94 | 1,03 | 1,12 | 1,15 | 1,18 | 1,18 | 1,18 |
| La Araucanía | 0,94 | 1,03 | 1,12 | 1,15 | 1,18 | 1,18 | 1,18 |
| Los Ríos | 0,94 | 1,03 | 1,12 | 1,15 | 1,18 | 1,18 | 1,18 |
| Los Lagos | 0,94 | 1,03 | 1,12 | 1,15 | 1,18 | 1,18 | 1,18 |
| Aysén | 0,94 | 1,03 | 1,12 | 1,15 | 1,18 | 1,18 | 1,18 |
| Magallanes | 0,94 | 1,03 | 1,12 | 1,15 | 1,18 | 1,18 | 1,18 |

Fuente: Juicio experto de investigadores de INIA-Remehue y Universidad de Chile.

Tabla 238. Factores de emisión país-específicos (Kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) (promedio) para la estimación de la emisión de CH₄ de la subcategoría “3.B. Gestión del estiércol” para terneros.

| Terneros | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Arica y Parinacota | 2,45 | 2,47 | 2,49 | 2,49 | 2,50 | 2,50 | 2,50 |
| Tarapacá | 2,45 | 2,47 | 2,49 | 2,49 | 2,50 | 2,50 | 2,50 |
| Antofagasta | 2,45 | 2,47 | 2,49 | 2,49 | 2,50 | 2,50 | 2,50 |
| Atacama | 2,45 | 2,47 | 2,49 | 2,49 | 2,50 | 2,50 | 2,50 |
| Coquimbo | 2,45 | 2,47 | 2,49 | 2,49 | 2,50 | 2,50 | 2,50 |
| Valparaíso | 2,45 | 2,47 | 2,49 | 2,49 | 2,50 | 2,50 | 2,50 |
| Metropolitana | 2,45 | 2,47 | 2,49 | 2,49 | 2,50 | 2,50 | 2,50 |
| O'Higgins | 2,45 | 2,47 | 2,49 | 2,49 | 2,50 | 2,50 | 2,50 |
| Maule | 2,45 | 2,47 | 2,49 | 2,49 | 2,50 | 2,50 | 2,50 |
| Ñuble | 2,19 | 2,21 | 2,23 | 2,23 | 2,24 | 2,24 | 2,24 |
| Bío Bío | 2,19 | 2,21 | 2,23 | 2,23 | 2,24 | 2,24 | 2,24 |
| La Araucanía | 2,19 | 2,21 | 2,23 | 2,23 | 2,24 | 2,24 | 2,24 |
| Los Ríos | 2,19 | 2,21 | 2,23 | 2,23 | 2,24 | 2,24 | 2,24 |
| Los Lagos | 2,19 | 2,21 | 2,23 | 2,23 | 2,24 | 2,24 | 2,24 |
| Aysén | 2,19 | 2,21 | 2,23 | 2,23 | 2,24 | 2,24 | 2,24 |
| Magallanes | 2,19 | 2,21 | 2,23 | 2,23 | 2,24 | 2,24 | 2,24 |

Fuente: Juicio experto de investigadores de INIA-Remehue y Universidad de Chile.

5.3.5.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para cada GEI de cada componente animal empleando un nivel de metodología 1. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 239. 3.B.1. Ganado vacuno: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|--------------|--|------------------|---|-------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 3.B.1.a. | Vacas lecheras | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 20,0% | 20,0% | 48,2% | 48,2% |
| 3.B.1. b.i. | Vacas carne | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 20,0% | 20,0% | 48,2% | 48,2% |
| 3.B.1.b.ii. | Vaquillas | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 20,0% | 20,0% | 48,2% | 48,2% |
| 3.B.1.b.iii. | Adultos carne | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 20,0% | 20,0% | 48,2% | 48,2% |
| 3.B.1.b.iv. | Jóvenes carne | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 20,0% | 20,0% | 48,2% | 48,2% |
| 3.B.1. b.v. | Terneros | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 20,0% | 20,0% | 48,2% | 48,2% |
| 3.B.1.a. | Vacas lecheras | N ₂ O | 66,5% | 66,5% | 50,0% | 100,0% | 83,2% | 120,1% |
| 3.B.1.b.iii. | Adultos carne | N ₂ O | 66,5% | 66,5% | 50,0% | 100,0% | 83,2% | 120,1% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.3.5.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos SGE y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Y para los años en que no se contó con datos estadísticos, se realizaron extrapolaciones e interpolaciones, para completar los datos faltantes. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.3.5.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.3.5.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Ganado", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización que forman parte del Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.5.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector Agricultura, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo 2020_SGCC_3AGRI. Un resumen del estado de avance de cada recomendación se encuentra en el ANEXO 11.02.

5.3.5.6.3. Verificación

Se empleó el mismo proceso de verificación explicado para la sección 5.2.5.6.3. *Verificación de Ganado vacuno.*

5.3.5.7. Recálculos

5.3.5.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría se realizaron mejoras metodológicas a la base de población animal, que son las mismas que se pueden observar en el punto 5.2.5.7.1 *Justificación de los nuevos cálculos y mejoras.*

5.3.5.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 240 y Figura 113 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe principalmente al ajuste de los datos de actividad en la población animal y a correcciones en la estimación de los factores de emisión. Esto generó una disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 686,2 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

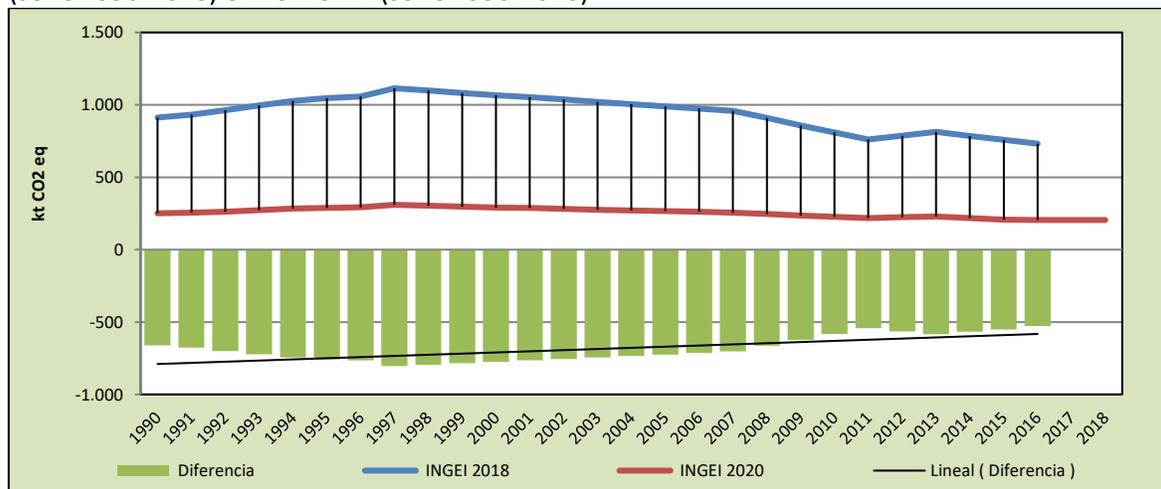
Tabla 240. 3.B.1 Ganado vacuno: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| INGEI 3IBA | 912,0 | 1.066,1 | 809,8 | 812,7 | 732,1 | | |
| INGEI 4IBA | 251,7 | 291,1 | 227,1 | 229,3 | 205,9 | 205,2 | 204,5 |

| | | | | | | | |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|--|--|
| Diferencia | -660,3 | -775,0 | -582,7 | -583,4 | -526,2 | | |
| Diferencia % | -262,3% | -266,2% | -256,6% | -254,4% | -255,5% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

Figura 113. 3.B.1 Ganado vacuno: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

5.3.5.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Un avance significativo se alcanzará en esta categoría por la incorporación de preguntas claves sobre esta temática en el nuevo Censo Agropecuario a ejecutar el primer semestre de 2021, que permitirá validar la información de distribución por categoría animal y región para diferentes SGE;
- INIA se encuentra ejecutando dos proyectos de investigación con financiamiento internacional (Ministry of Primary Industries, Nueva Zelanda) que puede aportar factores de emisión mejorados para emisiones de CH₄ y N₂O para la categoría manejo del estiércol bajo diferentes SGE y ambientes. Se espera que los resultados de estos trabajos se encuentren disponible para la siguiente ronda de INGEI.

5.3.6. Ovinos (3.B.2.)

5.3.6.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄ generadas por la descomposición del estiércol bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas de ovinos. Los ovinos son manejados fundamentalmente bajo condiciones de pastoreo a campo abierto; esto significa que las emisiones de N₂O desde las excretas depositadas por los animales en el campo directamente sobre el suelo, son contabilizadas en la categoría *Suelos agrícolas*.

5.3.6.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 9,8 kt CO₂ eq (representando el 0,7% de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo en un 45,7% desde 1990, y en un 8,6 % desde 2016 (Tabla 226 y Figura 111). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la disminución en la población de ganado ovino.

5.3.6.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Las emisiones de CH₄ fueron estimadas aplicando el método Nivel 1. Para su aplicación basta conocer las poblaciones por especie, las que se multiplican por los factores de emisión por defecto correspondientes. En la Tabla 241 se observa un resumen de los métodos aplicados por componente animal y por tipo de GEI.

Tabla 241. 3.B.2. Ovinos: métodos aplicados por componente animal

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|-------------|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.B.2. | Ovinos | | | T1 | D | NO | NO |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; S = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.3.6.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

En general la población animal (cabezas/año) fue obtenida al igual que en la *sección 5.2.6.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos*.

5.3.6.3.2. Factores de emisión

Para las emisiones de CH₄ de otras especies y para las emisiones de N₂O de todas las especies y sus respectivos SGE se aplicaron factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* del Cuadro 10.15; Capítulo 10; Volumen 4.

5.3.6.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para cada GEI de cada componente animal. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 242. 3.B.2. Ovinos: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--|-----------------|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 3.B.2. | Ovinos | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 30,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

En conclusión, la mayor fuente de incertidumbre en las estimaciones de GEI corresponde a los datos de actividad.

5.3.6.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión, los mismos SGE y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

5.3.6.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.3.6.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Ganado", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.3.6.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*.

5.3.6.6.3. Verificación

Se empleó el mismo proceso de verificación explicado para la sección 5.2.5.6.1. *Verificación de Fermentación entérica*.

5.3.6.7. Recálculos

5.3.6.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Ver sección 5.2.6.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras.

5.3.6.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

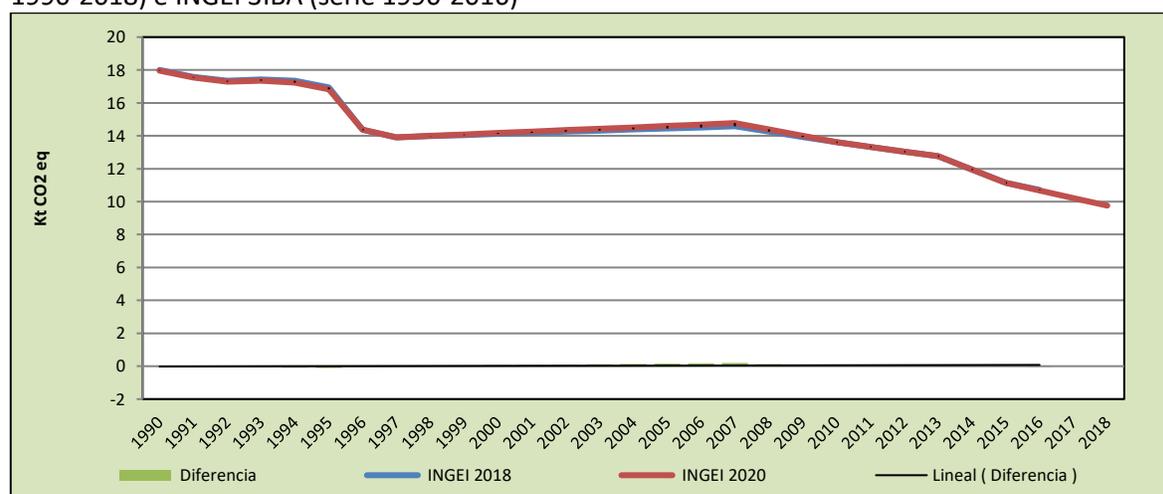
En la Tabla 2430 y Figura 114 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe principalmente al ajuste de los datos de actividad en la población animal. Esto generó un pequeño aumento de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 0,01 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 243. 3.B.2. Ovinos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|-------|------|------|------|-------|------|------|
| INGEI 3IBA | 18,0 | 14,1 | 13,6 | 12,8 | 10,7 | | |
| INGEI 4IBA | 18,0 | 14,2 | 13,6 | 12,8 | 10,7 | 11,1 | 9,8 |
| Diferencia | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| Diferencia % | -0,2% | 0,4% | 0,0% | 0,0% | -0,3% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA.

Figura 114. 3.B.2. Ovinos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

5.3.6.8. Plan de mejoramiento

- Un avance significativo se alcanzará en esta categoría por la incorporación de preguntas claves sobre esta temática en el nuevo Censo Agropecuario a ejecutar el primer semestre de 2021, que permitirá validar la información de distribución por categoría animal y región para diferentes SGE;
- No se contemplan otras mejoras en la generación de FE país específicos, dado que no se trata de una categoría clave.

5.3.7. Porcinos (3.B.3.)

5.3.7.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄ y N₂O generadas por la descomposición del estiércol bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas de porcinos. Estas condiciones ocurren a menudo cuando se maneja grandes cantidades de animales en una zona confinada, en las que habitualmente el estiércol es almacenado en grandes pilas o eliminado en lagunas o en otros tipos de sistemas de gestión del estiércol (SGE). En el contexto nacional, las emisiones de CH₄ provienen mayoritariamente de los cerdos (sistemas de manejo variado).

5.3.7.2. Tendencia de las emisiones de GEI

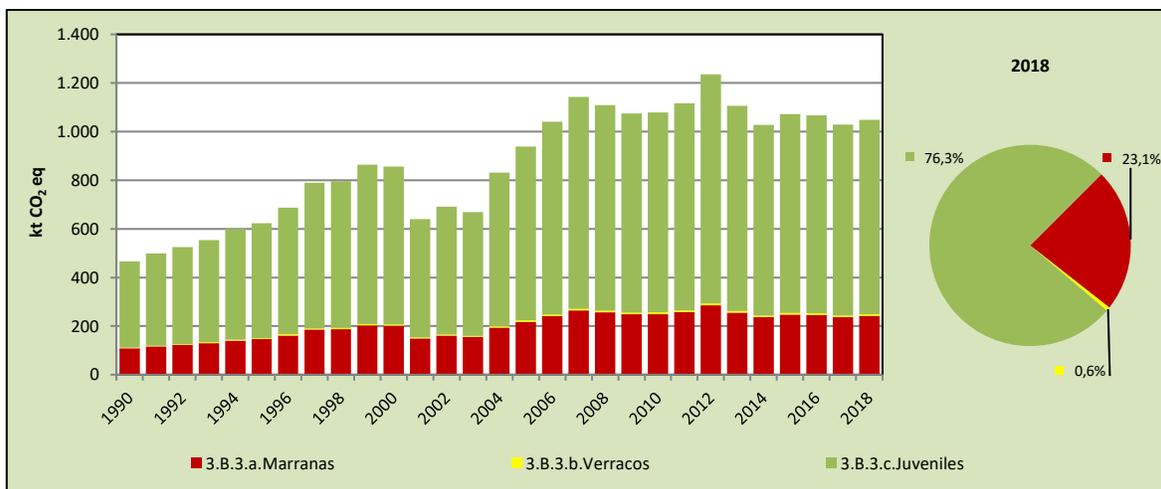
En 2018 las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 1.048,1 kt CO₂ eq (representando el 64,5 % de las emisiones de GEI de la categoría), incrementándose en un 125,0 % desde 1990, pero disminuyendo en un 1,7 % desde 2016 (Tabla 244 y Figura 115). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales son las variaciones que ha experimentado la población de ganado porcino durante toda la serie temporal, que ha ido en incremento, y la inclusión a partir del año 2001 de biodigestores como sistema de manejo del estiércol, considerando el 42% de la población en producción.

Tabla 244. 3.B.3. Porcinos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 3.B.3.a. Marranas | 109,1 | 201,2 | 249,4 | 255,7 | 246,2 | 237,7 | 242,0 |
| 3.B.3.b. Verracos | 2,9 | 5,4 | 6,7 | 6,8 | 6,6 | 6,3 | 6,5 |
| 3.B.3.c. Juveniles | 353,8 | 649,0 | 822,9 | 843,6 | 813,5 | 785,2 | 799,6 |
| Total | 465,8 | 855,7 | 1.079,0 | 1.106,2 | 1.066,2 | 1.029,2 | 1.048,1 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Figura 115. 3.B.3. Porcinos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.3.7.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 2. Para su aplicación se requiere conocer las poblaciones por especie, las que se multiplican por los factores de emisión país específico obtenidos para este INGEI. Para la estimación de las emisiones de N₂O se aplicó el método de Nivel 1. Para la asignación de los Porcinos a los SGE, se utilizó la información aportada por ASPROCER, al elaborar la serie temporal 1990-2018. En la Tabla 245 se observa un resumen de los métodos aplicados por componente animal y por tipo de GEI.

Tabla 245. 3.B.3. Porcinos: métodos aplicados por componente animal

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|-------------|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.B.3.a. | Marranas | | | T2 | CS | T1 | D |
| 3.B.3.b. | Verracos | | | T2 | CS | T1 | D |
| 3.B.3.c. | Juveniles | | | T2 | CS | T1 | D |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.3.7.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

En general la población animal (cabezas/año) fue obtenida al igual en la sección 5.2.7.3.1. *Datos de actividad estadísticos y paramétricos.*

5.3.7.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión país específicos empleados para la estimación de la emisión de CH₄ por manejo del estiércol para porcinos fueron calculados con datos paramétricos aportados por investigadores del Centro Regional de Investigación Remehue (INIA Remehue) del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y de ASPROCER. El cálculo de estos factores está basado en la Ecuación 10.24 del capítulo 10, Volumen 4 de las *Directrices del IPCC 2006*. Los datos paramétricos utilizados para su estimación se presentan en la Tabla 246 y los factores de emisión en la Tabla 247.

Tabla 246. 3.B.3. Porcinos: Datos paramétricos para el cálculo de los factores de emisión de CH₄ país específico.

| Grupo animal – Porcinos | Verraco | Marrana | Juveniles | Fuente |
|---|---------|---------|-----------|-------------------|
| Peso en pie kg cabeza ⁻¹ | 120 | 100 | 49,6 | ASPROCER |
| Energía bruta (EB) MJ día ⁻¹ | 38,00 | 31,67 | 15,71 | GL2006 |
| Ingesta de alimentos kg ms día ⁻¹ | 2,10 | 1,75 | 0,87 | GL2006 |
| Digestibilidad de alimentos (DE) % | 75 | 75 | 75 | ASPROCER - GL2006 |
| Cenizas del estiércol (ASH) % ms | 8 | 8 | 8 | GL2006 |
| Excreción de sólidos volátiles (VS) kg ms día ⁻¹ | 0,47 | 0,39 | 0,20 | GL2006 |
| Capacidad máxima del estiércol para producir CH ₄ (Bo) m ³ CH ₄ kg ⁻¹ SV) | 0,45 | 0,45 | 0,45 | GL2006 |
| Factor de Conversión de Metano (FCM) | 74 | 74 | 74 | INIA - GL2006 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI y ASPROCER.

Tabla 247. Factores de emisión de metano por gestión del estiércol por temperatura para porcinos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹)

| Factores de Emisión (kg CH ₄ (animal-año) ⁻¹) | |
|--|-------|
| Marranas | 32,15 |
| Verracos | 38,58 |
| Juveniles | 15,95 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Los factores de emisión país-específico obtenidos para esta serie temporal son más altos que los sugeridos por el IPCC, para sistemas de producción de cerdo en Latinoamérica⁸⁰, siendo más semejantes a valores sugeridos para sistemas de producción de cerdo en Norteamérica bajo condiciones de clima templado. Esto es coherente con las características de los sistemas de manejo del estiércol de la industria porcina en Chile, que gestionan sus residuos en sistemas líquidos de almacenaje. El valor 1 (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹), sugerido por el IPCC para Latinoamérica⁸¹, se refiere a porcinos manejados extensivamente donde el estiércol es depositado en la pradera durante el pastoreo. Esta situación es minoritaria en el país y no refleja la realidad de los sistemas de producción mayoritarios para esta industria.

Tabla 248. Factores de emisión de metano por gestión del estiércol por temperatura para porcinos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹)

| Características regionales | | América del Norte: Regularmente se utilizan sistemas de base líquida para estiércol de porcinos. | | América Latina: Casi todo el estiércol del ganado se gestiona como sólidos en pasturas y prados | |
|--|----------|--|------------------|---|---|
| Especie de ganado | | Porcinos en carne | Porcinos de cría | Porcinos | |
| Factores de emisión de CH ₄ según la temperatura a promedio anual | Frío | ≤ 10 | 10 | 19 | 1 |
| | | 11 | 11 | 20 | 1 |
| | | 12 | 11 | 21 | 1 |
| | | 13 | 12 | 22 | 1 |
| | | 14 | 12 | 23 | 1 |
| | Templado | 15 | 13 | 24 | 1 |
| | | 16 | 13 | 26 | 1 |
| | | 17 | 14 | 27 | 1 |
| | | 18 | 15 | 28 | 1 |
| | | 19 | 15 | 29 | 1 |
| | 20 | 16 | 31 | 1 | |

⁸⁰Directrices del IPCC 2006, volumen 4 capítulo 10, página 10.38⁸¹Directrices del IPCC 2006, volumen 4 capítulo 10, página 10.38

| Características regionales | | América del Norte: Regularmente se utilizan sistemas de base líquida para estiércol de porcinos. | | América Latina: Casi todo el estiércol del ganado se gestiona como sólidos en pasturas y prados | |
|----------------------------|--------|--|------------------|---|---|
| Especie de ganado | | Porcinos en carne | Porcinos de cría | Porcinos | |
| | | 21 | 17 | 32 | 1 |
| | | 22 | 18 | 34 | 1 |
| | | 23 | 18 | 35 | 1 |
| | | 24 | 19 | 37 | 1 |
| | | 25 | 20 | 39 | 1 |
| | Cálido | 26 | 22 | 41 | 2 |
| | | 27 | 23 | 44 | 2 |
| | | ≥ 28 | 23 | 45 | 2 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con datos obtenidos en *Directrices del IPCC de 2006*

Para la estimación de los factores de emisión de N₂O, se utilizan valores por defecto del cuadro 10.21 y las ecuaciones 10.30 y 10.25 del Capítulo 10, Volumen 4 de las *Directrices del IPCC 2006*.

5.3.7.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para cada GEI de cada componente animal utilizando una metodología nivel 1. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 249. 3.B.3. Porcinos: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------|------------------|---|-------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 3.A.3. | Porcinos | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 20,0% | 20,0% | 48,2% | 48,2% |
| 3.A.3. | Porcinos | N ₂ O | 55,2% | 55,2% | 50,0% | 100,0% | 74,5% | 114,2% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

La mayor fuente de incertidumbre en las estimaciones de GEI proviene de los datos de actividad.

5.3.7.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.3.7.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.3.7.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma automática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada “FE_DA_Ganado”, que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.3.7.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*.

5.3.7.6.3. Verificación

Se empleó el mismo proceso de verificación explicado para la sección 5.2.7.6.3. *Verificación de Fermentación entérica*.

5.3.7.7. Recálculos

5.3.7.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejora

Se empleó el mismo proceso explicado para la sección 5.2.7.7.1. *Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras*.

5.3.7.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

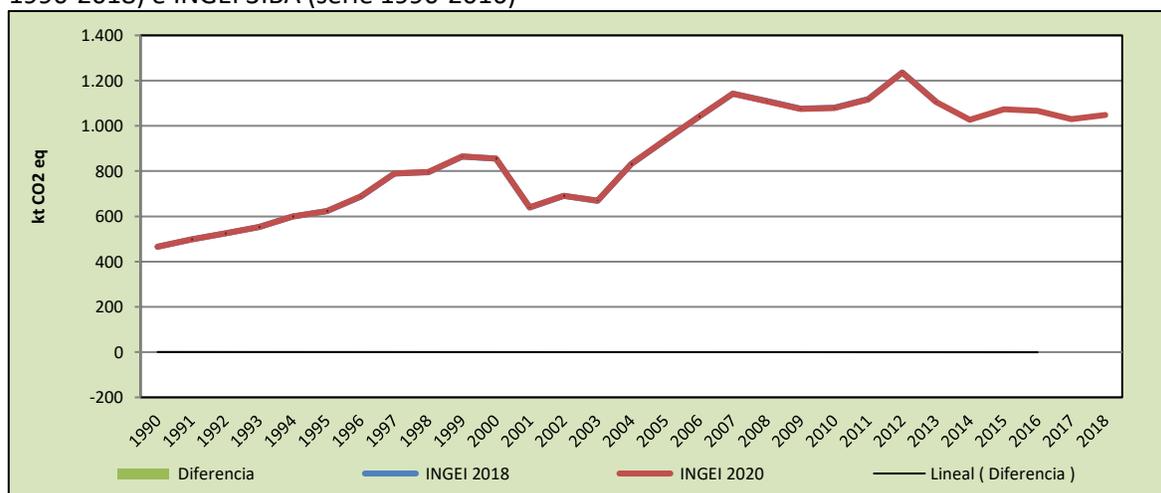
En la Tabla 250 y Figura 1160 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe principalmente a un ajuste en la estadística de la población animal. Esto generó un pequeño aumento de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 0,1 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 250. 3.B.3. Porcinos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| INGEI 3IBA | 465,7 | 855,1 | 1.080,0 | 1.107,2 | 1.065,8 | | |
| INGEI 4IBA | 465,8 | 855,7 | 1.079,0 | 1.106,2 | 1.066,2 | 1.029,2 | 1.048,1 |
| Diferencia | 0,1 | 0,6 | - | - | 0,5 | | |
| Diferencia % | 0,0% | 0,1% | -0,1% | -0,1% | 0,0% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

Figura 116. 3.B.3. Porcinos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

5.3.7.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Un avance significativo se alcanzará en esta categoría por la incorporación de preguntas claves sobre esta temática en el nuevo Censo Agropecuario a ejecutar el primer semestre de 2021, que permitirá validar la información de distribución por categoría animal y región para diferentes SGE;
- INIA se encuentra ejecutando dos proyectos de investigación con financiamiento internacional (Ministry of Primary Industries, Nueva Zelandia) que aportarán FE mejorados para emisiones de CH₄ y N₂O para la categoría manejo del estiércol bajo diferentes SGE y ambientes. Se espera que los resultados de estos trabajos se encuentren disponible para la siguiente ronda de INGEI.

5.3.8. Otras especies (3.B.4.)

5.3.8.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄ generadas por la descomposición del estiércol bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas de otras especies.

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄, el cual se produce como subproducto de los procesos digestivos de otras especies de menor participación en la población animal nacional. Las especies consideradas son las siguientes:

- Caprinos;
- Equinos;
- Mulas y asnos;
- Aves de corral;
- Camélidos (llamas y alpacas);
- Ciervos, y;
- Jabalíes.

A su vez el estiércol de Aves de corral genera emisiones directas de N₂O, durante su tratamiento y almacenamiento previo a otro uso.

Las otras especies animales son manejadas fundamentalmente bajo condiciones de pastoreo a campo abierto; esto significa que las emisiones de N₂O desde las excretas depositadas por los animales en el campo directamente sobre el suelo, son contabilizadas en la categoría *Suelos agrícolas*.

5.3.8.2. Tendencia de las emisiones de GEI

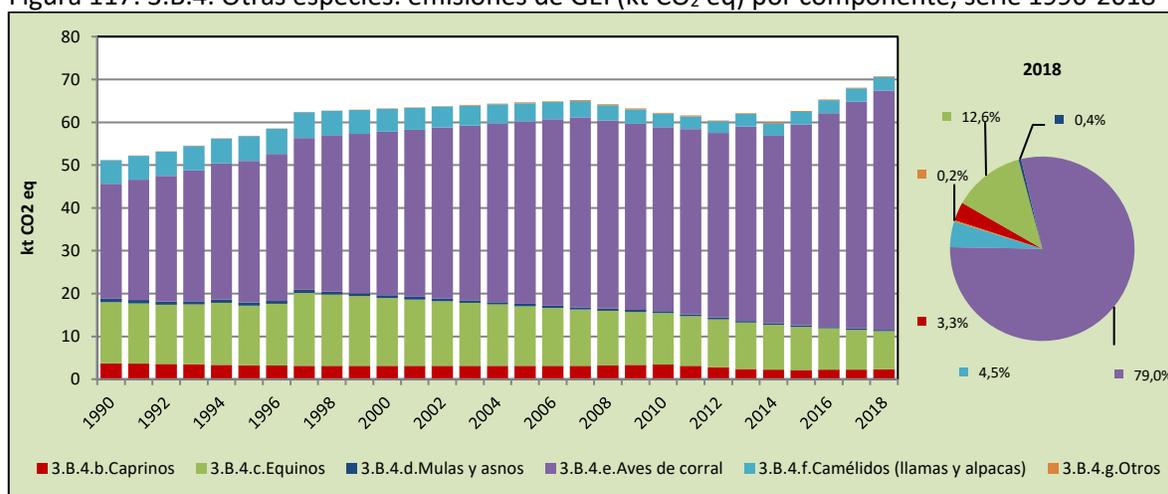
En el 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 70,8 kt CO₂ eq representando el 4,4 % de las emisiones de GEI de la categoría y aumentando en un 38,3 % desde 1990, y en un 8,3 % desde 2016 (Tabla 251 y Figura 117). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la variación de población animal, en donde para la mayoría de las especies animales hubo una disminución en el número de cabezas, a excepción la población de aves de corral, ciervos y jabalíes.

Tabla 251. 3.B.4. Otras especies: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 3.B.4.b. Caprinos | 3,7 | 3,1 | 3,4 | 2,4 | 2,2 | 2,3 | 2,3 |
| 3.B.4.c. Equinos | 14,2 | 15,9 | 12,0 | 10,8 | 9,7 | 9,3 | 8,9 |
| 3.B.4.d. Mulas y asnos | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| 3.B.4.e. Aves de corral | 26,8 | 38,2 | 43,0 | 45,3 | 49,9 | 52,9 | 55,9 |
| 3.B.4.f. Camélidos (Llamas y Alpacas) | 5,5 | 5,3 | 3,2 | 3,0 | 3,0 | 3,1 | 3,2 |
| 3.B.4.g. Otros | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Total | 51,2 | 63,2 | 62,2 | 62,1 | 65,3 | 68,0 | 70,8 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Figura 117. 3.B.4. Otras especies: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.3.8.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Las emisiones de CH₄ fueron estimadas aplicando el método Nivel 1. Para su aplicación basta conocer las poblaciones por especie, las que se multiplican por los factores de emisión por defecto correspondientes. Para las emisiones de N₂O de aves de corral fueron estimadas aplicando el método Nivel 1.

Tabla 252. 3.B.4. Otras especies: métodos aplicados por componente animal

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.B.4. b. | Caprinos | | | T1 | D | NO | NO |
| 3.B.4. c. | Equinos | | | T1 | D | NO | NO |
| 3.B.4. d. | Mulas y asnos | | | T1 | D | NO | NO |
| 3.B.4. e. | Aves de corral | | | T1 | D | T1 | D |
| 3.B.4. f. | Camélidos (llamas y alpacas) | | | T1 | D | NO | NO |
| 3.B.4. g.i. | Ciervos | | | T1 | D | NO | NO |
| 3.B.4.g.ii. | Jabalíes | | | T1 | D | NO | NO |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.3.8.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

En general la población animal (cabezas/año) fue obtenida al igual en la sección 5.2.8.3.1. *Datos de actividad estadísticos y paramétricos.*

5.3.8.3.2. Factores de emisión

Para las emisiones de CH₄ de otras especies y para las emisiones de N₂O de todas las especies y sus respectivos SGE se aplicaron factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006.*

Tabla 253. 3.B.4. Otras especies: factores de emisión por defecto por especie animal (kg CH₄ animal⁻¹ año⁻¹)

| Ganado | Factores de Emisión (kg CH ₄ (animal-año) ⁻¹) |
|------------------------------|--|
| Caprinos | 0,17 |
| Equinos | 1,64 |
| Mulas y asnos | 0,90 |
| Camélidos (Llamas y Alpacas) | 1,92 |
| Aves de Corral | 0,02 |
| Jabalíes | 1,00 |
| Ciervos | 0,22 |
| Ganado | Factores de Emisión (kg N ₂ O-N) |
| Aves de Corral | 0,001 |

Fuente: Cuadros 10.15 y 10.21; Capítulo 10; Volumen 4; Directrices del IPCC de 2006

5.3.8.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para cada GEI de cada componente animal empleando una metodología nivel 1. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 254. 3.B.4. Otras especies: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Ga s | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|---------------|------------------------------|------------------|---|-------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 3.B.4. b. | Caprinos | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 30,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |
| 3.B.4. c. | Equinos | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 30,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |
| 3.B.4. d. | Mulas y asnos | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 30,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |
| 3.B.4. e. | Aves de corral | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 30,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |
| 3.B.4. f. | Camélidos (llamas y alpacas) | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 30,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |
| 3.B.4. g.i. | Ciervos | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 30,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |
| 3.B.4. g.i.i. | Jabalíes | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 30,0% | 30,0% | 53,1% | 53,1% |
| 3.B.4. e. | Aves de corral | N ₂ O | 66,5% | 66,5% | 50,0% | 100,0% | 83,2% | 120,1% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.3.8.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.3.8.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.3.8.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Ganado", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.3.8.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*.

5.3.8.6.3. Verificación

Se empleó el mismo proceso de verificación explicado para la sección 1.2.5.6.1. *Verificación de Fermentación entérica.*

5.3.8.7. Recálculos

5.3.8.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se empleó el mismo proceso explicado para la sección 1.2.5.7.1. *Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras de Fermentación entérica.*

5.3.8.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

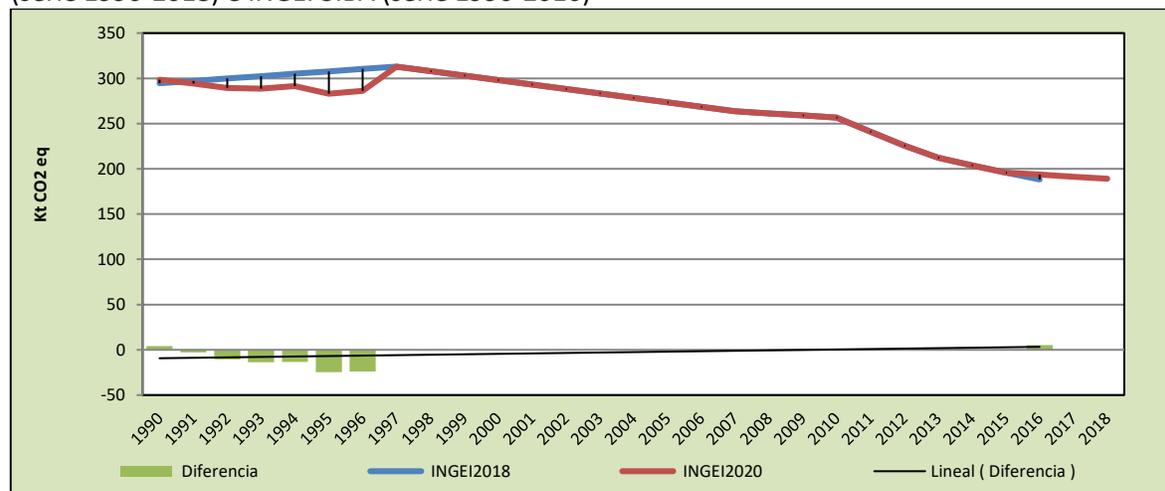
En la Tabla 255 y Figura 118 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe principalmente al ajuste de los datos de actividad en la población animal. Esto generó una disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 3,0 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 255. 3.B.4. Otras especies: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|
| INGEI 3IBA | 294,6 | 298,1 | 256,6 | 212,4 | 188,3 | | |
| INGEI 4IBA | 298,6 | 298,0 | 256,6 | 212,3 | 193,6 | 191,3 | 189,1 |
| Diferencia | 4,0 | -0,1 | 0,0 | -0,1 | 5,3 | | |
| Diferencia % | 1,4% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 2,7% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

Figura 118. 3.B.4. Otras especies: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI2020.

5.3.8.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Un avance significativo se alcanzará en esta categoría por la incorporación de preguntas claves sobre esta temática en el nuevo Censo Agropecuario a ejecutar el primer semestre

de 2021, que permitirá validar la información de distribución por categoría animal y región para diferentes SGE para la subcategoría de aves de corral.

5.3.9. Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol (3.B.5.)

5.3.9.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones indirectas de N₂O generadas por la descomposición del estiércol bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en los distintos tipos de sistemas de gestión del estiércol (SGE).

En el contexto nacional, las emisiones de N₂O se consideran principalmente en los siguientes SGE:

- Lagunas anaeróbicas para el componente de *Vacas lecheras*,
- Corral de engorda para el componente de *Otros vacunos*,
- Varios sistemas de manejo para el componente de *Porcinos*, y
- Sistemas sólidos para el componente de *Aves de corral*.

Las otras especies animales son manejadas fundamentalmente bajo condiciones de pastoreo a campo abierto.

5.3.9.2. Tendencia de las emisiones de GEI

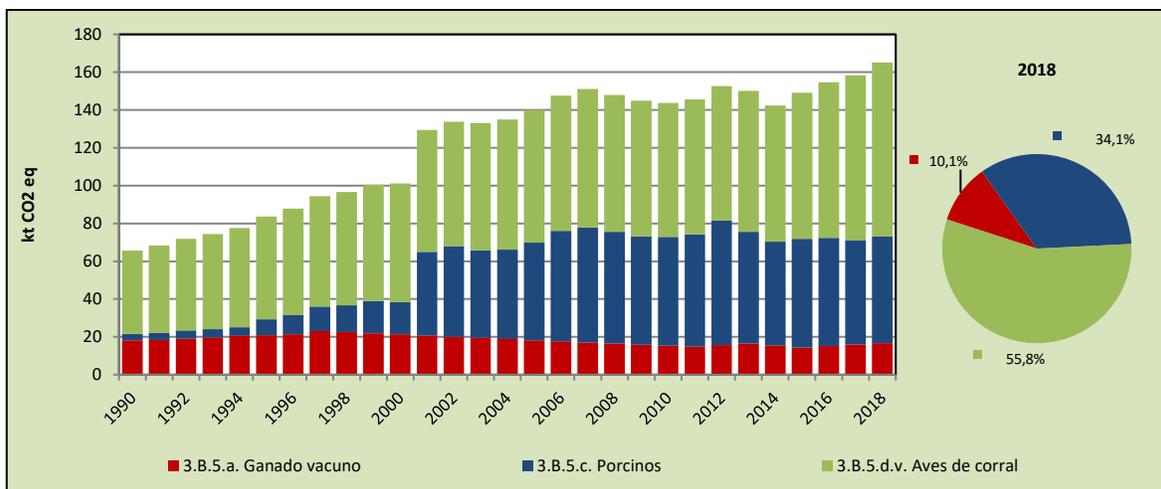
En 2016, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 165,1 kt CO₂ eq representando el 10,2 % de las emisiones de GEI de la categoría e incrementándose en un 151,2 % desde 1990 y en un 6,7 % desde 2016 (Tabla 256 y Figura 1190). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la variación en la población animal, y la incorporación de biodigestores como sistema de manejo del estiércol.

Tabla 256. 3.B.5. Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 3.B.5.a. Ganado vacuno | 18,1 | 21,3 | 15,3 | 16,6 | 15,2 | 16,0 | 16,7 |
| 3.B.5.c. Porcinos | 3,4 | 17,0 | 57,5 | 58,9 | 57,2 | 55,3 | 56,3 |
| 3.B.5.d.v. Aves de corral | 44,2 | 62,9 | 70,8 | 74,7 | 82,2 | 87,2 | 92,1 |
| Total | 65,7 | 101,2 | 143,7 | 150,2 | 154,7 | 158,4 | 165,1 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Figura 119. 3.B.5. Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.3.9.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de N₂O de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para todas sus componentes, mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 257. 3.B.5. Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol: métodos aplicados por componente

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.B.5.a. Ganado vacuno | | | | | T1 | D |
| 3.B.5.b. Ovinos | | | | | T1 | D |
| 3.B.5.c. Porcinos | | | | | T1 | D |
| 3.B.5.d.i. Búfalos | | | | | T1 | D |
| 3.B.5.d. ii. Caprinos | | | | | T1 | D |
| 3.B.5.d.iii. Equinos | | | | | T1 | D |
| 3.B.5.d. iv. Mulas y asnos | | | | | T1 | D |
| 3.B.5.d.v. Aves de corral | | | | | T1 | D |
| 3.B.5.d.vi. Camélidos (llamas y alpacas) | | | | | T1 | D |
| 3.B.5.d.vii. Otros | | | | | T1 | D |

T1 = Nivel 1; D = Por defecto; NO = No ocurre.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.9.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos se calcularon aplicando tasas de excreción de nitrógeno por defecto desde las *Directrices del IPCC de 2006*, presentadas previamente en la sección de metodología de la categoría *Gestión del estiércol (3.A.4)*, las que se multiplicaron por la población animal bajo cada tipo de SGE.

5.3.9.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión para la subcategoría corresponden a valores por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* Cuadro 11.3; Capítulo 10; Volumen 4.

5.3.9.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para el N₂O empleando una metodología nivel 1. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 258. 3.B.5. Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 3.B.5.a. | Ganado vacuno | 66,5% | 66,5% | 50,0% | 50,0% | 83,2% | 83,2% |
| 3.B.5. c. | Porcinos | 66,5% | 66,5% | 50,0% | 50,0% | 83,2% | 83,2% |
| 3.B.5.d.v. | Aves de corral | 66,5% | 66,5% | 50,0% | 50,0% | 83,2% | 83,2% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.3.9.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos, durante toda la serie. Para completar los datos estadísticos en los cuales no se contaba con información, se procedió a realizar interpolaciones y extrapolaciones. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.3.9.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.3.9.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Ganado", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización que forman parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.3.9.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Un resumen del estado de avance de cada recomendación se encuentra en el ANEXO 11.02.

5.3.9.6.3. Verificación

Se empleó el mismo proceso de verificación explicado para la sección 5.2.5.6.3 de *Verificación de Fermentación entérica*.

5.3.9.7. Recálculos**5.3.9.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras**

Para esta subcategoría se realizaron mejoras metodológicas a la base de población animal, que son las mismas que se pueden observar en el punto 5.2.5.7.1 *Justificación de los nuevos cálculos y mejoras*.

5.3.9.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 259 y Figura 120 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe al ajuste de los datos de actividad en la población animal. Esto generó una disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 9,2 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

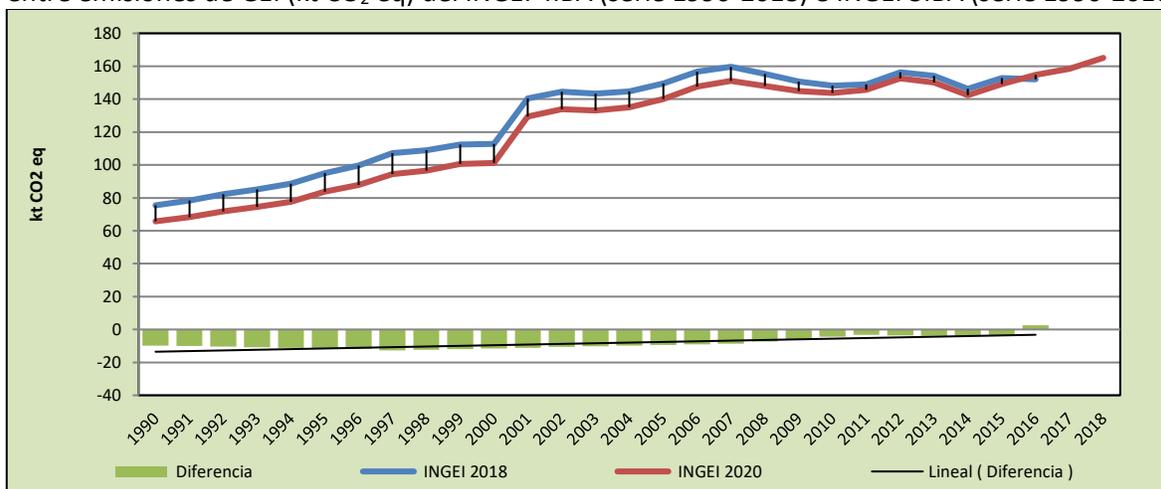
Tabla 259. 3.B.5. Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2018)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| INGEI 3IBA | 75,5 | 112,7 | 148,2 | 154,1 | 152,1 | | |
| INGEI 4IBA | 65,7 | 101,2 | 143,7 | 150,2 | 154,7 | 149,2 | 165,1 |
| Diferencia | -9,7 | -11,5 | -4,5 | -3,9 | 2,6 | | |

| | | | | | | | |
|--------------|--------|--------|-------|-------|------|--|--|
| Diferencia % | -14,8% | -11,4% | -3,1% | -2,6% | 1,7% | | |
|--------------|--------|--------|-------|-------|------|--|--|

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

Figura 120. 3.B.5. Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

5.3.9.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Un avance significativo se alcanzará en esta categoría por la incorporación de preguntas claves sobre esta temática en el nuevo Censo Agropecuario a ejecutar el primer semestre de 2021, que permitirá validar la información de distribución por categoría animal y región para diferentes SGE;
- INIA se encuentra ejecutando dos proyectos de investigación con financiamiento internacional (Ministry of Primary Industries, Nueva Zelandia) que aportarán FE mejorados para emisiones de N₂O por manejo del estiércol bajo diferentes SGE y ambientes. Se espera que los resultados de estos trabajos se encuentren disponible para la siguiente ronda de INGEI.

5.4. Cultivo del arroz (3.C.)

5.4.1. Descripción de la categoría

Esta categoría incluye emisiones de CH₄ generadas por la descomposición anaeróbica de material orgánico en arrozales inundados, que se libera a la atmósfera fundamentalmente a través de burbujas de agua y mediante el transporte a través de las plantas del arroz. La cantidad emitida es función de las variedades de arroz, de la extensión del período de inundación, de la cantidad de ciclos de cultivo y de la duración de cada ciclo de cultivo, de la temperatura del suelo, del método de riego y de la incorporación de sustratos orgánicos. Toda emisión de N₂O por el uso de fertilizantes

basados en nitrógeno en el cultivo de arroz se incluye como emisión en la categoría de emisiones de N₂O de los suelos gestionados.

En el contexto nacional, este cultivo se ubica en tres regiones administrativas de la zona central del país, sin que se emplee de manera habitual la incorporación de sustratos orgánico al suelo, y realizándose sólo una cosecha por año.

5.4.2. Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Cultivo de arroz* es la quinta categoría emisora de GEI del sector *Agricultura*, representando el 1,3 % de las emisiones de GEI del sector. En 2018 (Tabla 192 y Figura 96), sus emisiones de GEI contabilizaron 148,7 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 9,4 % desde 1990, pero incrementándose un 11,2 % desde 2016. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la variabilidad de la superficie sembrada anualmente, que depende fuertemente del precio internacional y la importación de arroz. Adicionalmente, la superficie total sembrada en el país está limitada por la disponibilidad de fuentes de agua en cantidad suficiente para el anegamiento en el área geográfica de producción y su limitación en expansión debido al exceso de horas de frío, que perjudica la floración, así, la producción de arroz en Chile es la más austral del mundo (Paredes y Becerra, 2015).

Respecto a las subcategorías, solo se registran emisiones para *Irrigadas*, único tipo de práctica efectuada en el país para el cultivo del arroz.

5.4.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de esta categoría se aplicó un método Nivel 1 para toda la categoría, mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla 260 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 260. 3.C. Cultivo del arroz: métodos aplicados por subcategoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|----------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.C.1. | Irrigadas | | | T1 | D | | |
| 3.C.2. | Alimentadas a lluvia | | | NE | NE | | |
| 3.C.3. | Aguas profundas | | | NE | NE | | |
| 3.C.4. | Otros | | | NO | NO | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Las emisiones de CH₄ se estiman multiplicando los factores de emisión diaria por período de cultivo⁸² de arroz y por superficies de cosecha anual⁸³ (Ecuación 5.1; Capítulo 5; Volumen 4; *Directrices del*

⁸² En caso de cultivos bianuales, el «período de cultivo» deben ampliarse según la cantidad respectiva de días.

⁸³ En caso de múltiples cultivos durante el mismo año, la «superficie de cosecha» será igual a la suma de las superficies utilizadas para cada cultivo.

IPCC de 2006). En su forma más simple, esta ecuación se aplica utilizando datos de la actividad nacionales (es decir, periodo de cultivo de arroz promedio y superficie cosechada a nivel nacional) y un único factor de emisión. Sin embargo, las condiciones naturales y la gestión agrícola de la producción de arroz pueden ser muy variables dentro de un mismo país.

Existen distintas condiciones que inciden sobre las emisiones de CH₄ producidas por el cultivo del arroz, como, por ejemplo:

1. Diferencias regionales en las prácticas de cultivo del arroz: si el país es grande y tiene regiones agrícolas dispares con diferentes climas y/o sistemas de producción (p. ej., pautas de inundación), se debe realizar un conjunto de cálculos individual para cada región. Esto no ocurre en Chile dado que la producción se concentra entre las regiones del Maule y del Bío Bío.
2. Régimen hídrico: definido como la combinación entre el tipo de ecosistema (es decir, irrigado, alimentado por lluvia, y producción de arroz en aguas profundas) y las pautas de inundación. En Chile, aunque existe un desarrollo incipiente de los sistemas de siembra directa en seco o con inundación interrumpida (Donoso et al., 2015), el arroz se cultiva mayoritariamente en forma irrigada.
3. Agregados orgánicos a los suelos: tipo y de la cantidad de material aplicado. Aunque existen antecedentes de resultados experimentales sobre los beneficios productivos y económicos del uso de enmiendas orgánicas en el cultivo del arroz (Hirzel, 2015), no existen antecedentes de datos de actividad sobre el tipo y monto de enmienda orgánica empleada en el cultivo del arroz en el país.
4. Otras condiciones: el cultivar del arroz y el contenido de sulfatos de los abonos.

Dado que nuestro país no cuenta con información suficiente como para desagregar la superficie total cosecha bajo ninguna de las condiciones nombradas en el párrafo anterior, es que el nivel metodológico utilizado para calcular las emisiones de esta categoría corresponde a emplear el factor de emisión por defecto de Nivel 1 y factores de ajuste, junto con datos de la actividad en cuanto a superficie de cosecha y período de cultivo. Cabe destacar que se asumió un valor único de 1, para todos los factores de ajuste señalados en la Ecuación 20.

Ecuación 20. 3.C. Cultivo del arroz: factor de emisión diaria ajustado para una superficie de cosecha dada

$$EF_i = EF_c \times SF_w \times SF_p \times SF_o \times SF_{s,r}$$

Fuente: Ecuación 5.2; Capítulo 5; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- EF_i = Factor de emisión diaria ajustado para una superficie de cosecha dada,
- EF_c = Factor de emisión básico para Tierras inundadas permanentemente sin abonos orgánicos,
- SF_w = Factor de ajuste para compensar las diferencias del régimen hídrico durante el período de cultivo,
- SF_p = Factor de ajuste para compensar las diferencias del régimen hídrico durante la temporada previa al cultivo,
- SF_o = El factor de ajuste deberá variar según el tipo y a cantidad de abono orgánico aplicado,
- $SF_{s,r}$ = Factor de ajuste para tipo de suelo, cultivar del arroz, etc., si está disponible.

5.4.3.1. Datos de actividad de la categoría

La superficie de cosecha anual se obtuvo de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007* y de las Estadística de Cultivos elaboradas por ODEPA. La información entregada permite desagregar los datos por región geográfica de interés (Tabla 261).

Tabla 261. 3.C. Cultivo del arroz: superficie de arroz cosechada anualmente (ha)

| Año | Superficie (ha) |
|------|-----------------|
| 1990 | 32.590 |
| 1991 | 29.750 |
| 1992 | 31.760 |
| 1993 | 29.080 |
| 1994 | 30.360 |
| 1995 | 33.930 |
| 1996 | 32.030 |
| 1997 | 25.762 |
| 1998 | 26.702 |
| 1999 | 14.696 |
| 2000 | 25.768 |
| 2001 | 28.550 |
| 2002 | 27.980 |
| 2003 | 28.230 |
| 2004 | 24.900 |
| 2005 | 25.030 |
| 2006 | 27.980 |
| 2007 | 21.765 |
| 2008 | 20.960 |
| 2009 | 23.680 |
| 2010 | 24.527 |
| 2011 | 25.121 |
| 2012 | 23.991 |
| 2013 | 21.000 |
| 2014 | 22.398 |
| 2015 | 23.714 |
| 2016 | 26.540 |
| 2017 | 20.937 |
| 2018 | 29.522 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en ODEPA e INE.

El único dato paramétrico aplicado consiste en el período de siembra a cosecha, el cual, de acuerdo con información de ODEPA, el cultivo se siembra entre octubre y noviembre, para ser cosechado entre marzo y abril, pudiendo asumirse, para toda la superficie arroceras nacional, un período promedio de 155 días.

5.4.3.2. Factores de emisión

Para las emisiones de CH₄ se aplicó un factor de emisión por defecto de 1,3 kg CH₄ ha⁻¹ día⁻¹ de acuerdo con el Cuadro 5.11. Volumen 4, Capítulo 5 de las *Directrices del IPCC de 2006*, suponiendo

que (1) que no hay inundación durante menos de 180 días previos al cultivo del arroz, (2) el arroz permanece inundado durante el período de cultivo y (3) no se realiza de abonos orgánicos (EFc).

5.4.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para el CH₄. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 262. 3.C. Cultivo del arroz: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código o IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|---------------|--|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 3.C.1 | Irrigadas | 43,9% | 43,9% | 38,0% | 69,0% | 58,0% | 81,8% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.4.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.4.6. Procedimientos de garantía y control de la calidad y verificación

5.4.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*.

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Agricola", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.

- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.4.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico de Agricultura ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*.

5.4.6.3. Verificación

No hubo verificación con fuentes externas para esta categoría.

5.4.7. Recálculos

5.4.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se realizó el recálculo de la serie completa 1990-2018 dado la incorporación de la nueva región del Ñuble al cálculo del INGEI.

5.4.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

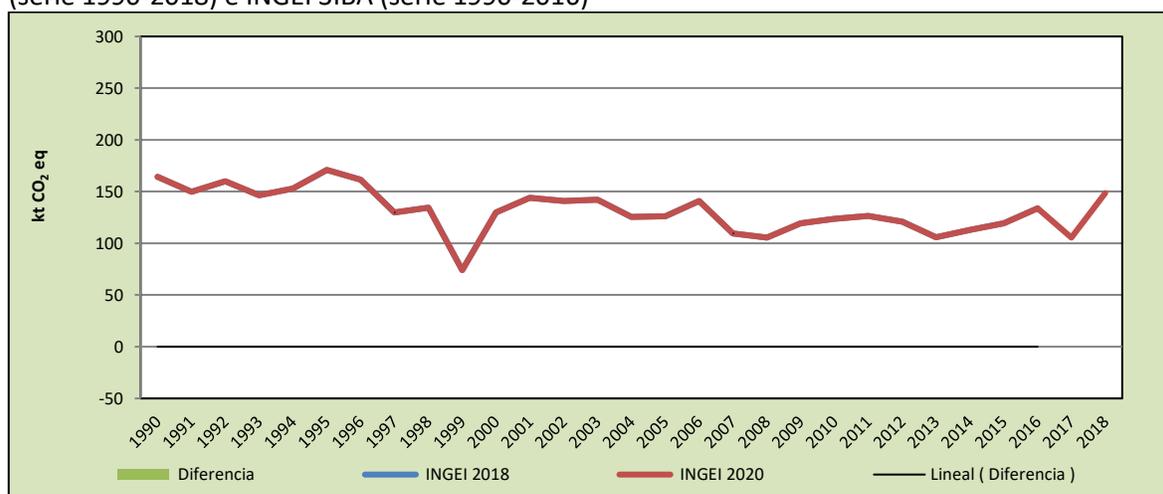
En la Tabla 263 y Figura 121 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). Tal como se observa, no existe variación en las emisiones de ambos inventarios, ya que los datos estadísticos y paramétricos son los mismos en ambos inventarios, aunque su distribución geográfica varió a partir de la incorporación de la región de Ñuble.

Tabla 263. 3.C. Cultivo del arroz: comparación entre las emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| INGEI 3IBA | 164,2 | 129,8 | 123,6 | 105,8 | 133,7 | | |
| INGEI 4IBA | 164,2 | 129,8 | 123,6 | 105,8 | 133,7 | 105,5 | 148,7 |
| Diferencia | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| Diferencia % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Figura 121. 3.C. Cultivo del arroz: comparación entre las emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.4.8. Plan de mejoramiento

En los últimos años ha existido un esfuerzo a nivel de investigación por favorecer la validación y adopción de sistemas de producción de arroz con menor impacto ambiental, al incorporar un Sistema Intensivo del Cultivo de Arroz (SRI, por sus siglas en inglés). En la actualidad, estas validaciones ofrecen resultados promisorios por lo que se espera en un futuro próximo sean adoptadas por los productores. Adicionalmente, se espera determinar la cantidad de residuos orgánicos (paja del arroz cosechado en el ciclo anterior) que es incorporado al suelo permitiendo una estimación más precisa de la emisión de metano en este cultivo. Adicionalmente, INIA se encuentra desarrollando proyectos de investigación con financiamiento internacional del Fondo Tecnológico Agropecuario (FONTAGRO) para el desarrollo de factores de emisión país-específicos para emisiones de metano y óxido nítrico, reflejando las condiciones únicas del arroz producido en Chile, especialmente sus condiciones climáticas.

5.5. Suelos agrícolas (3.D.)

5.5.1. Descripción de la categoría

Esta categoría incluye emisiones directas e indirectas de N₂O generadas desde la superficie de los suelos producto de procesos microbianos asociados a la aplicación de nitrógeno en forma de fertilizantes sintético; nitrógeno orgánico aplicado como fertilizante (estiércol animal, abono orgánico, compost, lodos de aguas servidas, residuos); nitrógeno de orina y de estiércol depositado en pasturas, praderas, prados por animales en pastoreo; nitrógeno en residuos de cultivos (sobre la superficie y debajo de esta), mineralización/inmovilización de nitrógeno vinculada a la ganancia/pérdida de materia orgánica del suelo resultante del cambio del uso de la tierra o de la gestión de suelos minerales; y el drenaje/gestión de suelos orgánicos (histosoles).

En el contexto nacional, las emisiones directas e indirectas de N₂O desde suelos agrícolas provienen de las siguientes fuentes:

- Nitrógeno aplicado desde fertilizantes sintéticos (N-fertilizantes sintéticos),
- Nitrógeno orgánico proveniente de fertilizantes orgánicos (N-estiércol),
- Nitrógeno de residuos de cosecha (N-residuos de cosecha),
- Nitrógeno de orina y estiércol depositado en pastizales, prados y praderas por animales en pastoreo. Este componente se subdivide a su vez en
 - Nitrógeno que proviene del estiércol de bovinos, aves y cerdos (N-PRP-CPP).
 - Nitrógeno que proviene del estiércol de ovinos, caprinos, equinos, mulas, asnos y auquénidos (N-PRP-SO).

Es importante señalar que se incluyen en la contabilización las emisiones de N₂O desde suelos orgánicos gestionados (histosoles), gracias a la información (hectáreas que anualmente son drenadas a nivel nacional) proporcionada por Comisión Nacional de Riego (CNR) a través de ODEPA y la información obtenida de los suelos ñadi existentes (hectáreas de suelos) en el país de las regiones de Los Lagos y Los Ríos.

5.5.2. Tendencia de las emisiones de GEI

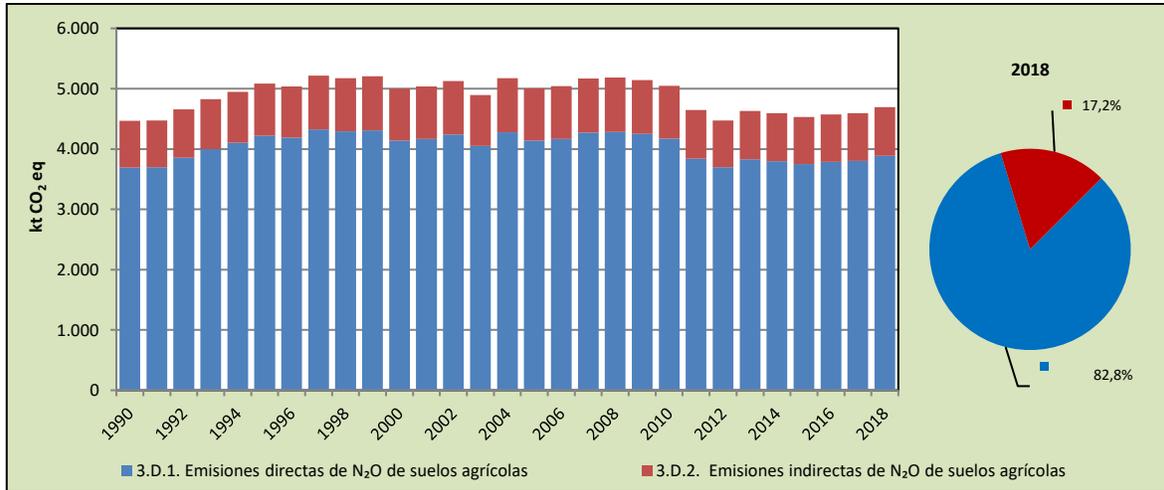
La categoría *Suelos agrícolas* es la segunda categoría emisora de GEI del sector *Agricultura*, representando el 39,8 % de las emisiones de GEI del sector. En 2018 (Tabla 264 y Figura 122), sus emisiones de GEI contabilizaron 4.696,9 kt CO₂ eq, aumentando en un 4,6 % desde 1990 y en un 2,6 % desde 2016. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la disminución en *Orina y estiércol depositado en pastizales, prados y praderas* asociado a la reducción de la masa ganadera en el país, aunque la disminución ha sido compensada por el aumento en las emisiones provenientes de componente *Fertilizantes inorgánicos*.

Tabla 264. 3.D. *Suelos agrícolas*: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 3.D.1. Emisiones directas de N ₂ O de suelos agrícolas | 3.714,6 | 4.158,3 | 4.179,3 | 3.833,5 | 3.791,1 | 3.808,5 | 3.888,9 |
| 3.D.2. Emisiones indirectas de N ₂ O de suelos agrícolas | 775,4 | 860,6 | 875,2 | 803,4 | 787,1 | 791,4 | 807,7 |
| Total | 4.490,0 | 5.018,9 | 5.054,6 | 4.636,9 | 4.578,2 | 4.599,9 | 4.696,6 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Figura 122. 3.D. *Suelos agrícolas*: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

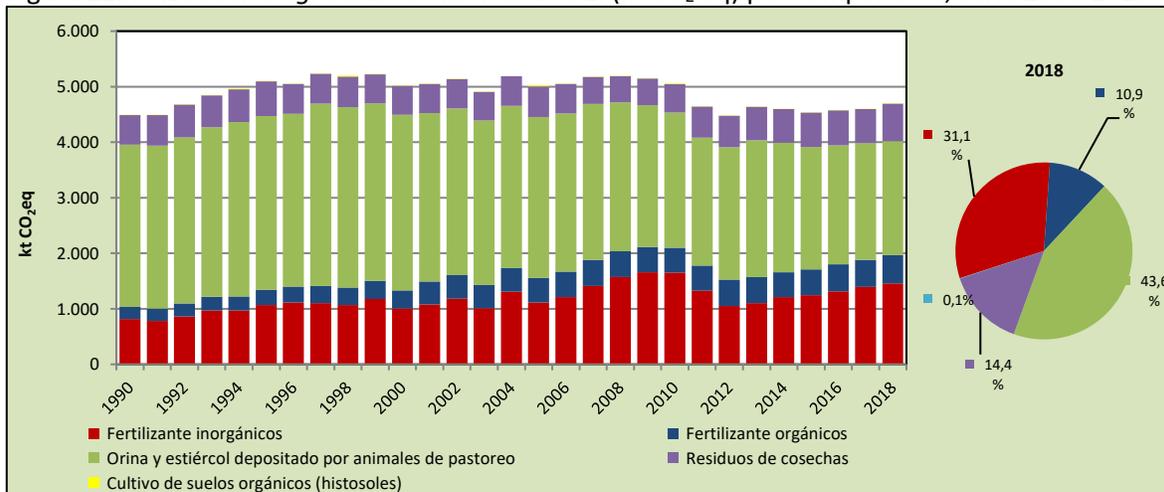
A nivel de componente (Tabla 265 y Figura 123), *Orina y estiércol depositado por animales en pastoreo* es el de mayor importancia con un 43,6 %, seguido de 31,1 % de *Fertilizantes inorgánicos*, 14,4 % de *Residuos de Cosecha*, seguido de 10,9 % de *Estiércol animal aplicado a los suelos*, mientras que el porcentaje restante 0,06 % corresponde a *Cultivos de suelos orgánicos (histosoles)*.

Tabla 265. 3.D. *Suelos agrícolas*: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Fertilizantes inorgánicos | 816,2 | 1.005,0 | 1.651,8 | 1.099,5 | 1.316,7 | 1.391,8 | 1.458,9 |
| Fertilizantes orgánicos | 215,3 | 328,8 | 448,8 | 470,0 | 482,4 | 492,2 | 511,4 |
| Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo | 2.923,9 | 3.158,7 | 2.436,0 | 2.463,7 | 2.147,7 | 2.098,0 | 2.047,8 |
| Residuos de cosechas | 533,7 | 523,3 | 508,6 | 602,0 | 630,2 | 615,6 | 675,9 |
| Cultivo de suelos orgánicos (histosoles) | 0,9 | 3,1 | 9,5 | 1,7 | 1,2 | 2,3 | 2,6 |
| Total | 4.490,0 | 5.018,9 | 5.054,6 | 4.636,9 | 4.578,2 | 4.599,9 | 4.696,6 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 123. 3.D. *Suelos agrícolas*: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.5.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de N₂O de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para todas sus componentes a excepción de la componente *Fertilizantes Inorgánicos*, que contó con método Nivel 2 para ciertas regiones del sur del país (Región de Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Lagos y Los Ríos). En la Tabla 2660 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 266. 3.D. Suelos agrícolas: métodos aplicados por subcategoría

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|-------------|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.D.1. | Emisiones directas de N ₂ O de suelos agrícolas | | | | | T1, T2 | D, CS |
| 3.D.2. | Emisiones indirectas de N ₂ O de suelos agrícolas | | | | | T1 | D |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; CS = País específico; D = Por defecto.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.5.4. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas (3.D.1.)

5.5.4.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones directas de N₂O generadas desde la superficie de los suelos producto de procesos microbianos asociados a la aplicación de nitrógeno en forma de fertilizantes sintético; nitrógeno orgánico aplicado como fertilizante (estiércol animal, abono orgánico, compost, lodos de aguas servidas, residuos); nitrógeno de orina y de estiércol depositado en pasturas, praderas, prados por animales en pastoreo; nitrógeno en residuos de cultivos (sobre la superficie y debajo de esta); mineralización/inmovilización de nitrógeno vinculada a la ganancia/pérdida de materia orgánica del suelo resultante del cambio del uso de la tierra o de la gestión de suelos minerales; y el drenaje/gestión de suelos orgánicos (histosoles).

En el contexto nacional, las emisiones directas de N₂O desde suelos agrícolas provienen de las siguientes fuentes:

- Nitrógeno aplicado desde fertilizantes sintéticos (N-fertilizantes sintéticos),
- Nitrógeno orgánico proveniente de Fertilizantes orgánicos (N-estiércol),
- Nitrógeno de residuos de cosecha (N-residuos de cosecha),
- Nitrógeno de orina y estiércol depositado en pastizales, prados y praderas por animales en pastoreo. Este componente se subdivide a su vez en
 - Nitrógeno que proviene del estiércol de bovinos, aves y cerdos (N-PRP-CPP).
 - Nitrógeno que proviene del estiércol de ovinos, caprinos, equinos, mulas, asnos y auquénidos (N-PRP-SO).

Es importante señalar que no se incluyen en la contabilización las emisiones de N₂O desde suelos minerales, debido a la carencia de información respecto a la gestión de este tipo de suelos en el país.

5.5.4.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 3.888,9 kt CO₂ eq (representando el 82,8 % de las emisiones de GEI de la categoría), aumentando en un 4,7 % desde 1990 y en un

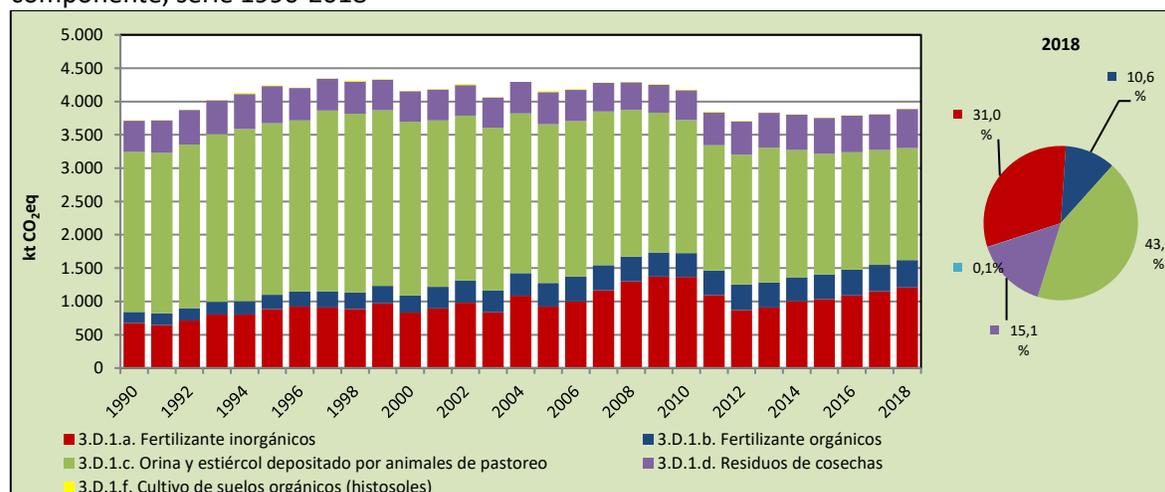
2,6 % desde 2016 (Tabla 267 y Figura 124). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales disminución de la componente *Orina y estiércol depositado en pastizales, prados y praderas*, aunque la disminución ha sido compensada por el aumento en las emisiones provenientes de la componente *Fertilizantes inorgánicos*.

Tabla 267. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 3.D.1.a. Fertilizantes inorgánicos | 674,9 | 831,5 | 1.367,4 | 910,1 | 1.089,8 | 1.152,2 | 1.207,4 |
| 3.D.1.b. Fertilizante orgánicos | 169,3 | 260,3 | 360,2 | 377,0 | 387,9 | 396,0 | 411,6 |
| 3.D.1.c. Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo | 2.398,2 | 2.604,9 | 1.995,5 | 2.018,5 | 1.762,6 | 1.722,0 | 1.680,8 |
| 3.D.1.d. Residuos de cosechas | 471,3 | 458,5 | 446,7 | 526,2 | 549,6 | 536,0 | 586,5 |
| 3.D.1.f. Cultivo de suelos orgánicos (histosoles) | 0,9 | 3,1 | 9,5 | 1,7 | 1,2 | 2,3 | 2,6 |
| Total | 3.714,6 | 4.158,3 | 4.179,3 | 3.833,5 | 3.791,1 | 3.808,5 | 3.888,9 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Figura 124. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.5.4.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de N₂O de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para la mayoría de sus componentes, excepto para para ciertas regiones del país de la componente *Fertilizantes Inorgánicos*, mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla 268 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 268. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: métodos aplicados por componente

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.D.1.a. Fertilizante inorgánicos | | | | | T1, T2 | D, CS |
| 3.D.1.b.i. Fertilizantes orgánicos | | | | | T1 | D |
| 3.D.1.c. Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo | | | | | T1 | D |

| | | | | | | |
|---|--|--|--|--|----|---|
| 3.D.1.d. Residuos de cosechas | | | | | T1 | D |
| 3.D.1.f. Cultivo de suelos orgánicos (histosoles) | | | | | T1 | D |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2 CS = País específico; D = Por defecto.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Se trabajó con las siguientes ecuaciones:

Ecuación 21. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: emisiones directas de N₂O en suelos gestionados (Nivel 1)

$$N_2O_{Directas} - N = N_2O - N_{N\ aportes} + N_2O - N_{PRP}$$

Fuente: Ecuación 11.1; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $N_2O_{Directas} - N$ = Emisiones directas anuales de N₂O–N producidas a partir de suelos gestionados (kg N₂O–N año⁻¹),
- $N_2O - N_{N\ aportes}$ = Emisiones directas anuales de N₂O–N producidas por aportes de N a suelos gestionados (kg N₂O–N año⁻¹),
- $N_2O - N_{PRP}$ = Emisiones directas anuales de N₂O–N de aportes de orina y estiércol a Tierras de pastoreo (kg N₂O–N año⁻¹).

Ecuación 22. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: emisiones directas anuales de N₂O producidas por aportes de N a suelos gestionados

$$N_2O - N_{N\ aportes} = [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR}) \times EF_1]$$

Fuente: Ecuación 11.1; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $N_2O - N_{N\ aportes}$ = Emisiones directas anuales de N₂O–N producidas por aportes de N a suelos gestionados (kg N₂O–N año⁻¹),
- F_{SN} = Cantidad anual de N aplicado a los suelos en forma de fertilizante sintético (kg N año⁻¹),
- F_{ON} = Cantidad anual de estiércol animal (kg N año⁻¹),
- F_{CR} = Cantidad anual de N en los residuos agrícolas (aéreos y subterráneos) que se regresan a los suelos (kg N año⁻¹),
- EF_1 = Factor de emisión para emisiones de N₂O de aportes de N (kg N₂O–N ((kg aporte de N)⁻¹).

Ecuación 23. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: emisiones directas anuales de N₂O producidas por orina y estiércol de animales en pastoreo

$$N_2O - N_{PRP} = [(F_{PRP,CPP} \times EF_{3PRP,CPP}) + (F_{PRP,SO} \times EF_{3PRP,SO})]$$

Fuente: Ecuación 11.1; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $N_2O - N_{PRP}$ = Emisiones directas anuales de N₂O–N de aportes de orina y estiércol a tierras de pastoreo (kg N₂O–N año⁻¹),

- F_{PRP} = Cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositada por los animales en pastoreo sobre pasturas, prados y praderas (kg N año^{-1}) (Nota: los subíndices CPP y SO se refieren a Vacunos, Aves de corral y Porcinos, y a Ovinos y Otros animales, respectivamente),
- EF_3 = Factor de emisión para emisiones de N_2O de aportes de N $\text{kg N}_2\text{O-N}$ ($(\text{kg aporte de N})^{-1}$).

5.5.4.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Fertilizantes

Para el caso de los fertilizantes inorgánicos, los datos recopilados corresponden a las toneladas de nitrógeno de fertilizantes inorgánicos que se consumen en Chile anualmente, de acuerdo con lo reportado por ODEPA. Esta información, es depurada de aquella recibida desde el Servicio de Aduanas, y da cuenta de N importado y empleado en agricultura (descontando el destinado a minería o farmacéutica). Esta información no se encuentra desagregada por tipo de fertilizante nitrogenado, aunque de acuerdo con la estimación de ODEPA, con base en aquella de importación generada por el Servicio Nacional de Aduanas se estima que entre el 89 y el 100 % del nitrógeno empleado anualmente con fines agrícolas se usó como urea, para el periodo 1998-2018. Así, para obtener el contenido de nitrógeno empleado se utiliza por defecto el valor de 46 %, que corresponde al contenido de N de la urea, expresado en porcentaje, el cual es multiplicado por las toneladas de consumo aparente de fertilizantes.

El país no cuenta con datos de actividad que permitan desagregar el uso de fertilizante por tipo de uso de suelo o región del país, por lo que no es posible estimar las emisiones regionales siguiendo una aproximación *bottom-up*.

Distribución de los residuos de cultivo

Para estimar la fracción de residuos agrícolas que es destinada a cada uso final, se requieren numerosos datos paramétricos, pues estos varían según los distintos tipos de cultivo. La determinación de estos datos paramétricos, entre los que destaca la desagregación de los residuos en sus posibles destinos finales, se realiza principalmente en base al juicio de expertos. Los destinos finales designados a cada tipo de residuos son (1) quema *in-situ*, (2) consumo animal en campo, (3) enfardado y extraído del campo, y (4) incorporación al suelo, lo que fue definido como el porcentaje remanente después de determinar los previos tres destinos. Con la quema *in-situ* definido según los métodos descritos el consumo animal en campo y el enfardado fueron evaluados para cuatro rubros, a saber, cultivos anuales, huertos frutales, hortalizas, y forrajeras. Generalmente los destinos a enfardado y consumo animal en campo se mantuvieron estáticos a través de los años, donde el arroz, tomate, y cereales no-maíz fueron las excepciones.

El detalle de la obtención de los datos (población animal) para las subcategorías relacionadas con estiércol animal, así como los datos de actividad paramétricos (tasa de excreción animal y su distribución), deben consultarse en el capítulo de la categoría *Gestión del estiércol*.

Histosoles

La superficie de histosoles (suelos orgánicos drenados), viene de información generada por ODEPA y la Comisión Nacional de Riego (CNR).

5.5.4.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión para la subcategoría corresponden a valores por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 269).

Tabla 269. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: factores de emisión por defecto

| Factor de emisión | Valor por defecto |
|---|-------------------|
| EF ₁ para aportes de N de fertilizantes minerales, abonos orgánicos y residuos agrícolas, y N mineralizado de suelos minerales a causa de pérdida de carbono del suelo [kg N ₂ O–N (kg N) ⁻¹] | 0,01 |
| EF _{3PRP, CPP} para vacunos (lecheros y no lecheros, y búfalos), aves de corral y porcinos [kg N ₂ O–N (kg N) ⁻¹] | 0,02 |
| EF _{3PRP, SO} para ovinos y «otros animales» [kg N ₂ O–N (kg N) ⁻¹] | 0,01 |
| EF _{1FR} para arrozales inundados [kg N ₂ O–N (kg N) ⁻¹] | 0,003 |
| EF _{2GC, Temp} para suelos orgánicos templados de cultivos y con pastizales [kg N ₂ O–N (ha) ⁻¹] | 8 |
| EF _{país-específico} para aportes de N de fertilizantes minerales causa de pérdida de carbono del suelo [kg N ₂ O–N (kg N) ⁻¹] | 0,0025 |

Fuente: Cuadro 11.1; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Los factores de emisión para la categoría corresponden a valores de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* más un factor de emisión de valor local para un grupo contiguo de regiones dominados por suelos de cenizas volcánicas, estas regiones son Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Los factores de emisión en estos suelos se han investigado desde 2011 a través de ensayos y estudios realizados por INIA Remehue, bajo distintos tipos de praderas (por ej. [Vistoso et al., 2012](#)), y cultivos ([Hube et al., 2016](#)), y distintas dosis de fertilizante nitrogenado. En base a estos estudios se utiliza un valor promedio de 0,0025 [kg N₂O–N (kg N)⁻¹]. Este valor es más bajo que el 1 % reportado como FE de emisión por defecto por las *Directrices del IPCC de 2006* para esta categoría, sin embargo, puede ser explicado por las particularidades del ciclo biogeoquímico de N en suelos volcánicos ([Dixon et al., 2011](#); [Cárdenas et al., 2013](#)), incluyendo una baja disponibilidad de NO₃ ([Salazar et al., 2014](#)), sustrato del N₂O, y una baja presencia de organismos desnitrificadores ([Carvajal et al., 2016](#)).

5.5.4.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para el N₂O. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en tabla siguiente.

Tabla 270. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|--------|
| | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 3.D.1.a. | Fertilizantes inorgánicos | 83,0% | 83,0% | 70,0% | 67,0% | 108,6% | 106,7% |
| 3.D.1. b. | Fertilizantes orgánicos | 66,5% | 66,5% | 70,0% | 67,0% | 96,6% | 94,4% |
| 3.D.1. c. | Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo | 66,5% | 66,5% | 70,0% | 67,0% | 96,6% | 94,4% |
| 3.D.1. d. | Residuos de cosechas | 83,0% | 83,0% | 70,0% | 67,0% | 108,6% | 106,7% |
| 3.D.1. f. | Cultivo de suelos orgánicos (histosoles) | 33,1% | 33,1% | 100,0% | 67,0% | 105,3% | 74,7% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.5.4.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.5.4.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.5.4.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma automática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en dos planillas denominadas “FE_DA_Ganado” y “FE_DA_Agricola”, que están vinculadas a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.5.4.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector Agricultura, el Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo 2020_SGCC_3AGRI. Un resumen del estado de avance de cada recomendación se encuentra en el ANEXO 11.02.

5.5.4.6.3. Verificación

Con respecto a la cantidad de fertilizante utilizada en el país, las importaciones y exportaciones están agrupadas por categorías lo que ha permitido una estimación de su probable cantidad de N, persistiendo cierto grado de incertidumbre. Los datos utilizados en este INGEI 4IBA corresponden a los datos depurados y entregados por ODEPA, distribuidos por región en base de superficie cultivada, que reflejan las distintas variables existentes en la serie de tiempo, como lo son el precio de los fertilizantes, variables climáticas (sequía), crisis económica, tasas de aplicación por agricultores pequeños, entre varias otras.

5.5.4.7. Recálculos

5.5.4.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

En esta actualización, se utilizaron datos depurados (fertilizantes nitrogenados) entregados por ODEPA, y la incorporación del factor país específico para emisiones directas de N₂O para fertilizantes nitrogenados minerales (regiones del Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos).

5.5.4.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

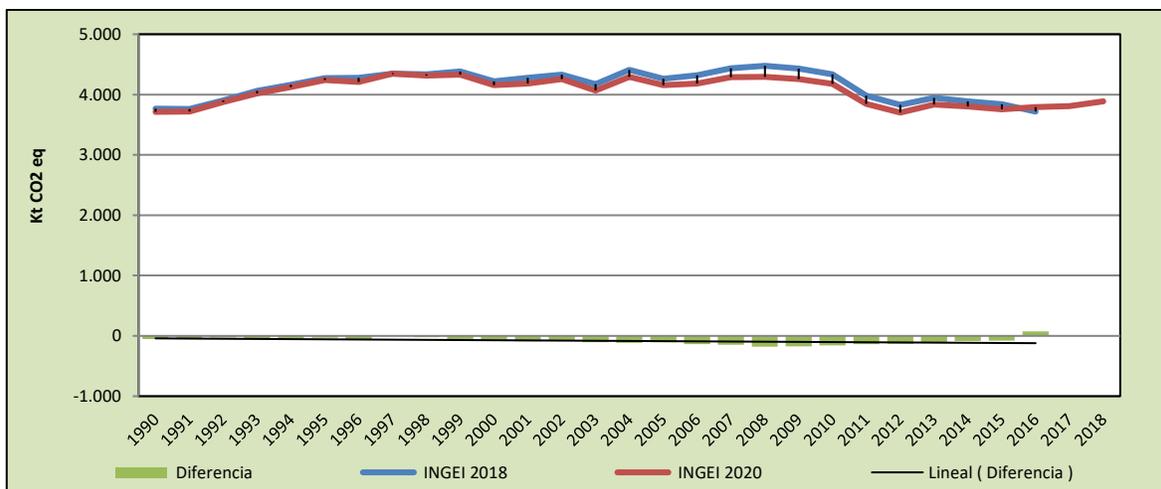
En la Tabla 271 y Figura 125 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La disminución de emisiones es básicamente atribuible a la utilización de nuevas estimaciones de nitrógeno excretado y la mejora de la información sobre el uso de fertilizantes nitrógenos entregados. Esto generó una disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 82,2 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 271. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: comparación entre emisiones de CH₄ (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|-------------|---------|---------|
| INGEI 3IBA | 3.764,5 | 4.219,1 | 4.336,3 | 3.943,5 | 3.718,3 | | |
| INGEI 4IBA | 3.714,6 | 4.158,3 | 4.179,3 | 3.833,5 | 3.791,1 | 3.808,5 | 3.888,9 |
| Diferencia | -49,8 | -60,8 | -157,0 | -110,0 | 72,8 | | |
| Diferencia % | -1,3% | -1,5% | -3,8% | -2,9% | 1,9% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

Figura 125. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: comparación entre emisiones (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

5.5.4.8. Plan de mejoramiento

En el caso de los Fertilizantes sintéticos se requiere contar con información por región administrativa sobre el uso de fertilizantes, con el fin de disminuir la incertidumbre asociada a la utilización de métodos de desagregación regional, basados en la importancia relativa de la actividad agrícola en cada una de las regiones. Esto incluye forma química, región y cultivo. Igualmente, importante es que estos datos deben ser periódicamente publicados y de libre acceso.

Los artículos científicos asociados al desarrollo del FE país específico de esta categoría se reportarán para ser considerados por la EFDB del IPCC.

Respecto a las fuentes de nitrógeno animal, en la actualidad el país no cuenta con factores de emisión país específico para aplicar métodos superiores. Sin embargo, se encuentra en marcha una investigación científica práctica por parte de INIA-Remehue, con el apoyo de la Global Research Alliance (GRA), para determinar estos factores. Esto que generaría una contribución importante debido a que más del 50 % de esta subcategoría tiene relación con las fuentes y la cantidad de nitrógeno animal.

5.5.5. Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas (3.D.2.)

5.5.5.1. Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones indirectas de N₂O generadas por (a) la volatilización de nitrógeno (como NH₃ y NO_x) después de la aplicación de fertilizantes con nitrógeno sintético y orgánico y/o deposición de orina y estiércol de animales en pastoreo y la subsiguiente deposición del nitrógeno como amoníaco (NH₄⁺) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en suelos y aguas y (b) la lixiviación y el agotamiento de nitrógeno de fertilizantes añadidos con nitrógeno sintético y orgánico, residuos de cultivos, mineralización/inmovilización vinculada a la ganancia/pérdida de carbono del suelo resultante del cambio del uso de la tierra o de las prácticas de gestión de suelos minerales; y orina y estiércol depositado por animales en pastoreo en aguas subterráneas.

5.5.5.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 807,7 kt CO₂ eq (representando el 17,2 % de las emisiones de GEI de la categoría), aumentando en un 4,2 % desde 1990 y en un 2,6 % desde 2016 (Tabla 272 y Figura 126). La principal causante de la tendencia son las variaciones interanuales del N proveniente del estiércol animal y fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

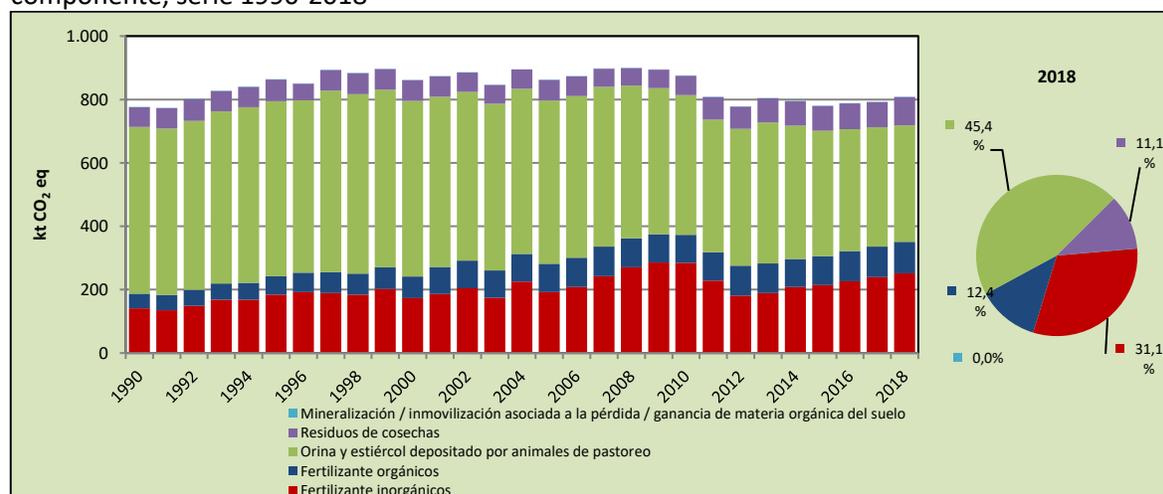
Respecto a las fuentes, tanto de la componente de *Deposición atmosférica* como de *Lixiviación y escurrimiento*, *Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo* acumula la mayoría de las emisiones, representando un 45,4 % de la subcategoría, seguida de un 31,1 % de *Fertilizantes inorgánicos*, un 12,4 % de *Fertilizantes orgánicos*, un 11,1 % de *Residuos de cosecha* y el porcentaje (menor al 0,0 %) restante de *Mineralización/inmovilización a la pérdida/ganancia de materia orgánica del suelo*.

Tabla 272. 3.D.2. Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Fertilizantes inorgánicos | 141,3 | 173,4 | 284,4 | 189,4 | 226,9 | 239,6 | 251,5 |
| Fertilizantes orgánicos | 46,1 | 68,6 | 88,5 | 93,0 | 94,5 | 96,2 | 99,8 |
| Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo | 525,7 | 553,7 | 440,4 | 445,2 | 385,1 | 376,0 | 367,0 |
| Residuos de cosechas | 62,4 | 64,9 | 61,9 | 75,8 | 80,6 | 79,6 | 89,4 |
| Mineralización asociada a la pérdida/ganancia de MO del suelo | 0,002 | 0,007 | 0,021 | 0,004 | 0,003 | 0,005 | 0,006 |
| Total | 775,4 | 860,6 | 875,2 | 803,4 | 787,1 | 791,4 | 807,7 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Figura 126. 3.D.2. Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.5.5.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de N₂O de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para todas sus componentes, mediante datos de actividad desagregados por región administrativa y factores de emisión por defecto. En la Tabla 273 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 273. 3.D.2. Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas: métodos aplicados por componente.

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|-------------|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.D.2.a.i | Fertilizantes inorgánicos | | | | | T1 | D |
| 3.D.2.a.ii | Fertilizantes orgánicos | | | | | T1 | D |
| 3.D.2.a.iii | Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo | | | | | T1 | D |
| 3.D.2. b.i. | Fertilizantes inorgánicos | | | | | T1 | D |
| 3.D.2.b. ii | Fertilizantes orgánicos | | | | | T1 | D |
| 3.D.2.b.iii | Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo | | | | | T1 | D |
| 3.D.2.b.iv. | Residuos de cosechas | | | | | T1 | D |
| 3.D.2. b.v. | Mineralización / inmovilización asociada a la pérdida / ganancia de materia orgánica del suelo | | | | | T1 | D |

T1 = Nivel 1; D = Por defecto

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Un punto importante de mencionar es lo relacionado con la subcategoría *Lixiviación y escurrimiento*. Las *Directrices del IPCC de 2006*, indican que se produce lixiviación o escurrimiento en regiones húmedas o en regiones secas en donde se emplea irrigación y en las regiones que presentan estas características la fracción de lixiviación que se debe ocupar es de 0,3 ($Frac_{Lixiviación-(H)}$). Pero en regiones secas, donde las precipitaciones son menores a la evapotranspiración durante la mayor parte del año y es poco factible que se produzca lixiviación, la fracción de lixiviación es igual a cero. Es por este punto y siguiendo lo que se indica sobre la evapotranspiración en el Atlas Agroclimático de Chile, solo en las regiones de Ñuble al sur ocurría lixiviación, no así en las regiones al norte de esta.

Ecuación 24. 3.D.2. Emisiones indirectas de N₂O producido por disposición atmosférica de N volatilizado de suelos agrícolas (Nivel 1)

$$N_2O_{(ATD)} = N - [(F_{SN} \times Frac_{GASF}) + (F_{ON} + F_{PRP}) \times Frac_{GASM}] \times EF_4$$

Fuente: Ecuación 11.9; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $N_2O_{(ATD)}$ = Cantidad anual de N₂O-N producida por disposición atmosférica de N volatilizado de suelos agrícolas (kg N₂O-N año⁻¹),
- F_{SN} = Cantidad anual de fertilizantes sintéticos aplicado a los suelos (kg N año⁻¹),
- $Frac_{GASF}$ = Fracción de N de fertilizantes sintéticos que se volatiliza como NH₃ y NO_x, kg N volatilizado (kg de N aplicado)⁻¹
- F_{ON} = cantidad anual de estiércol animal gestionado, *compost*, lodos cloacales y otros agregados de N orgánico-aplicada a los suelos, kg N año⁻¹
- F_{PRP} = cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositada por animales de pastoreo en pasturas, prados y praderas, kg N año⁻¹
- $Frac_{GASM}$ = fracción de materiales fertilizantes de N orgánico (F_{ON}) y de N de orina y estiércol depositada por animales de pastoreo (F_{PRP}) que se volatiliza como NH₃ y NO_x, kg N volatilizado (kg de N aplicado o depositado)⁻¹

- EF_4 = factor de emisión correspondiente a las emisiones de N_2O de la deposición atmosférica de N en los suelos y en las superficies del agua [$kg\ N-N_2O\ (kg\ NH_3-N + NO_x-N\ volatilizado)^{-1}$]

Ecuación 25. 3.D.2. Emisiones indirectas de N_2O por lixiviación/escurrimiento de N de suelos agrícolas en regiones donde se produce este fenómeno (Nivel 1)

$$N_2O_{(L)} - N = \left[(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{PRP} + F_{SOM}) \times Frac_{Lixiviación-(H)} \times EF_5 \right]$$

Fuente: Ecuación 11.10; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $N_2O_{(L)} - N$ = Cantidad anual de N_2O-N producida por lixiviación y escurrimiento de agregados de N a suelos gestionados en regiones donde se producen estos fenómenos, ($kg\ N_2O-N\ año^{-1}$),
- F_{SN} = Cantidad anual de N de fertilizantes sintéticos aplicada a los suelos en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento, ($kg\ N\ año^{-1}$),
- F_{ON} = Cantidad anual de estiércol animal gestionado, *compost*, lodos cloacales y otros agregados de N orgánico-aplicada a los suelos en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento, ($kg\ N\ año^{-1}$),
- F_{CR} = cantidad de N en los residuos agrícolas (aéreos y subterráneos), incluyendo los cultivos fijadores de N y de la renovación de forraje/pastura, devuelta a los suelos anualmente en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento, ($kg\ N\ año^{-1}$),
- F_{PRP} = Cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositada por los animales en pastoreo en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento, ($kg\ N\ año^{-1}$),
- F_{SOM} = Cantidad anual de N mineralizado en suelos minerales relacionada con la pérdida de C del suelo de la materia orgánica del suelo, como resultado de cambios en el uso o la gestión de la tierra en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento
- $Frac_{Lixiviación-(H)}$ = Fracción de todo el N agregado a/mineralizado en suelos gestionados en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento, $kg\ N\ (kg\ de\ agregados\ de\ N)^{-1}$
- EF_5 = Factor de emisión para emisiones de N_2O por lixiviación y escurrimiento de N, $kg\ N_2O-N\ (kg\ N\ por\ lixiviación\ y\ escurrido)^{-1}$

5.5.5.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos utilizados para esta subcategoría fueron los mismos utilizados en *Emisiones directas de N_2O desde suelos agrícolas*. De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* para las emisiones indirectas se debe descontar la superficie bajo riego mecanizado ya que este sistema de riego elimina la lixiviación y la escorrentía.

Para la desagregación del consumo de fertilizantes inorgánicos, se recopiló información sobre la superficie regional de cada uno de los rubros de cultivos y las superficies regadas bajo los distintos métodos disponibles en del *Censo Agropecuario y Forestal 2007*. Así, se desagregaron los datos a nivel regional, de acuerdo con la distribución porcentual de la superficie cultivada, diferenciando la superficie cultivada que es regada con riego mecanizado, de aquella no regada o que es regada con riego no mecanizado. Esto permitió hacer una distinción entre el N que se volatiliza del que lixivia y escurre superficialmente, datos que son utilizados para la categoría *Emisiones indirectas de N_2O de suelos agrícolas*.

5.5.5.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión para la subcategoría corresponden a valores por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 274).

Tabla 274. 3.D.2. Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas: factores de emisión por defecto

| Factor de emisión | Valor por defecto |
|---|-------------------|
| EF ₄ [volatilización y re-deposición de N], kg N ₂ O–N (kg NH ₃ –N + NO _x –N volatilizado) ^{-1 19} | 0,010 |
| EF ₅ [lixiviación/escorrimento], kg N ₂ O–N (kg N lixiviación/escorrimento) ^{-1 20} | 0,0075 |
| Fra _{CGASF} [Volatilización de fertilizante sintético], (kg NH ₃ –N + NO _x –N) (kg N aplicado) ⁻¹ | 0,100 |
| Fra _{CGASM} [Volatilización de todos los fertilizantes de N orgánicos aplicados, y de estiércol y orina depositados por animales en pastoreo], (kg NH ₃ –N + NO _x –N) (kg N aplicado o depositado) ⁻¹ | 0,200 |
| Fra _{CLIXIVIACIÓN-(H)} [pérdidas de N por lixiviación/escorrimento en regiones donde Σ (lluvia en la estación lluviosa) - Σ (EP en el mismo período) > capacidad de retención del agua del suelo, O donde se emplea irrigación (excepto por goteo)], kg N (kg N agregado o por deposición de animales en pastoreo) ⁻¹ | 0,300 |

Fuente: Cuadro 11.3; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

5.5.5.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para el N₂O. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 275. 3.D.2. Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|---------------|--|---|-------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 3.D.2.a.i | Fertilizantes inorgánicos | 87,0% | 87,0% | 80,0% | 400,0% | 118,2% | 409,4% |
| 3.D.2.a.ii.1. | Fertilizantes orgánicos | 67,0% | 67,0% | 80,0% | 400,0% | 104,0% | 405,5% |
| 3.D.2.a.iii. | Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo | 67,0% | 67,0% | 93,0% | 233,0% | 114,3% | 242,3% |
| 3.D.2. b.i. | Fertilizantes inorgánicos | 67,0% | 67,0% | 93,0% | 233,0% | 114,6% | 242,4% |
| 3.D.2.b.ii.1. | Fertilizantes orgánicos | 66,5% | 66,5% | 93,0% | 233,0% | 114,3% | 242,3% |
| 3.D.2.b.iii. | Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo | 66,5% | 66,5% | 93,0% | 150,0% | 114,3% | 164,1% |
| 3.D.2.b.iv. | Residuos de cosechas | 67,0% | 67,0% | 93,0% | 167,0% | 114,6% | 179,9% |
| 3.D.2. b.v. | Mineralización / inmovilización asociada a la pérdida / ganancia de materia orgánica del suelo | 33,1% | 33,1% | 93,0% | 167,0% | 98,7% | 170,2% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Se aprecia que, en general, la mayor fuente de incertidumbre está relacionada al factor de emisión por defecto aplicado más que a los datos de actividad.

5.5.5.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.5.5.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.5.5.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en dos planillas denominadas “FE_DA_Ganado” y “FE_DA_Agricola”, que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.5.5.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico Agricultura del MINAGRI ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de AFOLU como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*.

5.5.5.6.3. Verificación

No se realizaron actividades de verificación.

5.5.5.7. Recálculos

5.5.5.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Al igual que en la subcategoría *Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas* se cuenta con nuevos datos de actividad y paramétricos que afectan las emisiones, como ajustes en el N aplicado como fertilizante. En esta actualización, otra modificación que se incorporó en los cálculos está relacionada con la utilización de nuevas estimaciones de nitrógeno animal excretado para ganado vacuno y porcino. Para mayor detalle revisar categoría *Gestión del estiércol*.

5.5.5.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

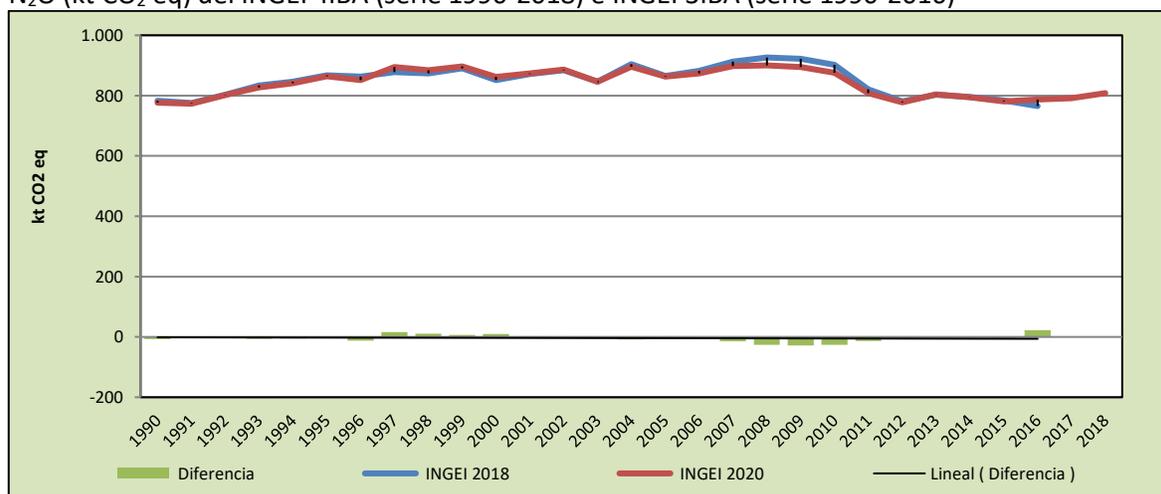
En la Tabla 276 y Figura 127 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia es atribuible al ajuste en los datos de actividad de uso de fertilizantes nitrogenados. Esto generó una disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 5,9 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 276. 3.D.2. Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas: comparación entre emisiones de N₂O (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| INGEI 3IBA | 782,8 | 851,9 | 902,4 | 802,7 | 765,4 | | |
| INGEI 4IBA | 775,4 | 860,6 | 875,2 | 803,4 | 787,1 | 791,4 | 807,7 |
| Diferencia | -7,4 | 8,8 | -27,2 | 0,7 | 21,8 | | |
| Diferencia % | -0,9% | 1,0% | -3,1% | 0,1% | 2,8% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

Figura 127. 3.D.2. Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas: comparación entre emisiones de N₂O (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

5.5.5.8. Plan de mejoramiento

En general, el mismo plan de mejoramiento asociado a la generación de datos de actividad de *Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas*, previamente descrito, es aplicable para esta subcategoría.

5.6. Quema prescrita de sabanas (3.E.)

5.6.1. Descripción de la categoría

En el contexto nacional, esta categoría no ocurre ya que el país no tiene este tipo de ecosistema en su territorio nacional.

5.7. Quema de residuos agrícolas en el campo (3.F.)

5.7.1. Descripción de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones de N₂O y CH₄ generadas por la quema de residuos agrícolas en el campo.

En el contexto nacional, esta categoría incluye diversos cultivos agrupadas en los siguientes componentes:

- Cereales y otros cultivos (cultivos industriales, leguminosas y tubérculos);
- Huertos frutales (frutales mayores, frutales menores, viñas y parronales).

5.7.2. Tendencia de las emisiones de GEI

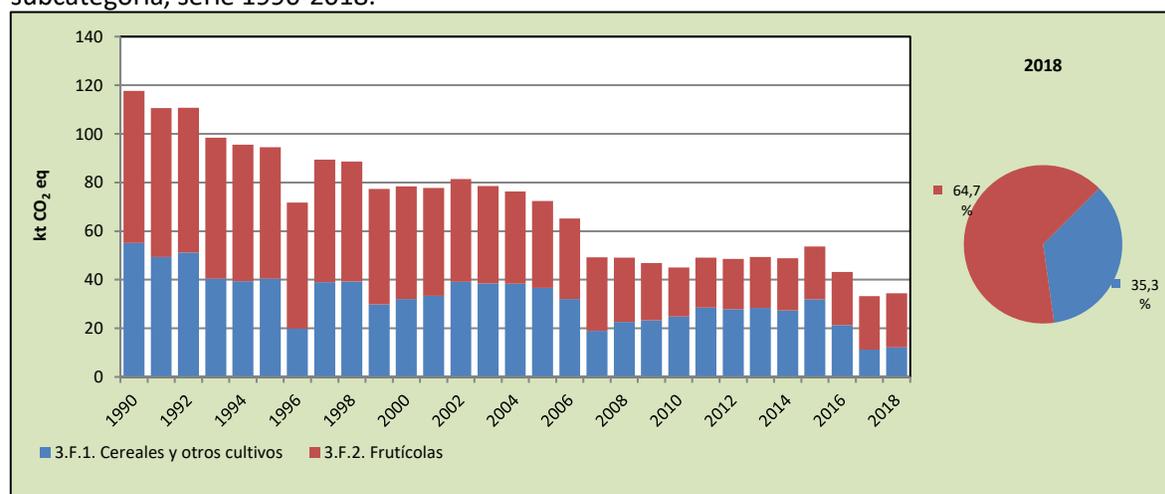
La categoría *Quema de residuos agrícolas en el campo* es la séptima categoría emisora de GEI del sector Agricultura, representando el 0,3 % de las emisiones de GEI del sector. En 2018 (Tabla 277 y Figura 128), sus emisiones de GEI contabilizaron 34,4 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 70,7 % desde 1990 y en un 20,2 % desde 2016. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la implementación de las leyes que prohíben la quema de estos residuos y, por otra parte, el mejor aprovechamiento de los residuos para consumo animal o incorporación al suelo. Respecto a las subcategorías, *Frutícolas* es la de mayor relevancia con un 69,9 %, seguida de un 30,1 % de *Cereales y otros cultivos*.

Tabla 277. 3.F. Quema de residuos agrícolas en el campo: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 3.F.1. Cereales y otros cultivos | 55,1 | 32,1 | 24,9 | 28,3 | 21,4 | 11,3 | 12,1 |
| 3.F.2. Frutícolas | 62,5 | 46,4 | 20,1 | 20,9 | 21,8 | 22,0 | 22,3 |
| Total | 117,6 | 78,5 | 45,1 | 49,4 | 43,1 | 33,3 | 34,4 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Figura 128. 3.F. Quema de residuos agrícolas en el campo: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.7.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para todas sus componentes, mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla 278 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 278. 3.F. Quema de residuos agrícolas en el campo: métodos aplicados por subcategoría

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|-------------|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.F.1. | Cereales | | | T1 | D | T1 | D |
| 3.F.2. | Huertos frutales | | | T1 | D | T1 | D |

T1 = Nivel 1; D = Por defecto

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta categoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de Agricultura con base en las hojas de trabajo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

5.7.4. Datos de actividad de la categoría

Los datos paramétricos necesarios fueron una combinación de valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, valores nacionales de ODEPA, INE y juicio de expertos.

5.7.5. Cereales y otros cultivos (3.F.1.)

5.7.5.1. Descripción de la subcategoría

Esta categoría incluye las emisiones de N₂O y CH₄, generadas por la quema de residuos agrícolas en los cultivos de cereales y otros cultivos como leguminosas, cultivos industriales y tubérculos.

5.7.5.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018 (Tabla 277 y Figura 128), las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 12,1 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 78,0 % desde 1990 y en un 43,5 % desde 2016. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la prohibición y control existente sobre la quema de residuos de cereales, lo que ha generado cambios en la disposición final y reutilización de estos residuos.

5.7.5.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para todas sus componentes, mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla 279 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 279. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: métodos aplicados por tipo de cultivo

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|-------------|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.F.1. | Cereales | | | T1 | D | T1 | D |

T1 = Nivel 1; D = Por defecto

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Para determinar las emisiones de GEI se aplicó una metodología país específica, pues se desarrolló una desagregación a nivel regional y una desagregación por componente operacional, que consistió en la utilización de criterio experto país específico para determinar la fracción de los residuos de los principales tipos de cultivos que se destinan a la quema en el campo.

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de Agricultura con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*, todo en función de la Ecuación 2.27; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

5.7.5.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos paramétricos necesarios fueron una combinación de valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, valores nacionales de ODEPA, CONAF y juicio de expertos.

Residuos agrícolas

Los datos de producción de residuos de cosechas se generaron a partir de datos estadísticos de superficie y de datos de productividad de los cultivos, recopilados de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007*, de las estadísticas anuales de ODEPA y los catastros frutícolas realizados por CIREN, que fueron combinados con datos de actividad paramétricos correspondientes a juicio de expertos e investigaciones, lo que permite hacer una división de los residuos de cultivo según su destino final. Esta clasificación sirvió para obtener valores más precisos acerca de la cantidad de restos de poda generados y de la biomasa viva presente en dichas superficies, variables que difieren según la edad y especie.

Con respecto a los cereales (sin incluir al maíz y al arroz en este ítem), los residuos representan la mayor parte de biomasa para trigo, avena, cebada, centeno, y triticale. Las superficies totales por

región que se destinan a la quema fueron cuantificadas para los años 2008-2018, utilizando los datos entregados por CONAF. Para la superficie de quema, del inicio de la serie (año 1990) fue estimada por juicio experto y para luego realizar una interpolación lineal entre 1990 y 2007.

Distribución de los residuos de cultivo

Para estimar la fracción de residuos agrícolas que es destinada a cada uso final son numerosos los datos paramétricos que se requieren, pues estos varían según los distintos tipos de cultivo. La determinación de estos datos paramétricos, entre los que destaca la desagregación de los residuos en sus posibles destinos finales, se construyó en base a datos disponibles de investigación (boletines técnicos INIA) y juicio de expertos. Los destinos finales designados a cada tipo de residuos fueron (1) quema *in-situ*, (2) consumo animal en campo, (3) enfardado, y (4) incorporación al suelo, lo que fue definido como el porcentaje remanente después de determinar los previos 3 destinos. Con la quema *in-situ* definido según los métodos descritos, el consumo animal en campo y el enfardo fueron evaluados para 4 rubros (cultivos anuales, huertos frutales, hortalizas, y forrajeras). Generalmente los destinos a enfardado y consumo animal en campo se mantuvieron estáticos a través de la serie de tiempo.

Para generar los datos del cuadro anterior se requirió de una gran cantidad de datos de actividad paramétricos, los cuales se resumen en la Tabla 280.

Tabla 280. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: datos de actividad paramétricos de cultivos anuales

| Especie | Índice de cosecha | Factor Residuos | Fracción de Materia Seca | Factor Residuos (ms) | Rendimiento (t ms ha ⁻¹) | Fracción de Carbono | Relación C/N | Relación N/C | Fracción de N |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|----------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------|--------------|---------------|
| Cereales | | | | | | | | | |
| Arroz | 0,48 | 1,08 | 0,89 | 0,96 | 4,82 | 0,45 | 65,00 | 0,02 | 0,01 |
| Maíz | 0,50 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 10,10 | 0,42 | 60,00 | 0,02 | 0,01 |
| Avena | 0,44 | 1,27 | 0,88 | 1,12 | 3,76 | 0,42 | 61,00 | 0,02 | 0,01 |
| Cebada cervecera y forrajera | 0,44 | 1,27 | 0,88 | 1,12 | 4,26 | 0,42 | 60,00 | 0,02 | 0,01 |
| Centeno | 0,44 | 1,27 | 0,85 | 1,08 | 3,13 | 0,42 | 60,00 | 0,02 | 0,01 |
| Trigo blanco y candeal | 0,42 | 1,38 | 0,90 | 1,24 | 4,26 | 0,42 | 60,00 | 0,02 | 0,01 |
| Triticale | 0,42 | 1,38 | 0,90 | 1,24 | 4,76 | 0,42 | 60,00 | 0,02 | 0,01 |
| Cultivos industriales principales | | | | | | | | | |
| Lupino | 0,38 | 1,63 | 0,86 | 1,40 | 2,08 | 0,42 | 35,00 | 0,03 | 0,02 |
| Maravilla | 0,36 | 1,78 | 0,90 | 1,60 | 1,81 | 0,42 | 52,00 | 0,02 | 0,01 |
| Raps | 0,30 | 2,33 | 0,80 | 1,87 | 2,93 | 0,42 | 52,00 | 0,02 | 0,05 |
| Remolacha | 0,65 | 1,00 | 0,18 | 0,18 | 72,86 | 0,42 | 28,00 | 0,04 | 0,02 |
| Tomate industrial | 0,42 | 1,38 | 0,90 | 1,24 | 59,59 | 0,42 | 60,00 | 0,02 | 0,01 |
| Leguminosas y tubérculos | | | | | | | | | |
| Poroto | 0,40 | 1,50 | 0,90 | 1,35 | 1,55 | 0,42 | 53,00 | 0,02 | 0,03 |
| Lenteja | 0,37 | 1,70 | 0,91 | 1,55 | 0,71 | 0,42 | 54,00 | 0,02 | 0,02 |
| Arveja | 0,31 | 2,23 | 0,77 | 1,71 | 1,09 | 0,42 | 53,00 | 0,02 | 0,02 |
| Garbanzo | 0,35 | 1,86 | 0,92 | 1,71 | 0,93 | 0,42 | 53,00 | 0,02 | 0,01 |
| Chícharo | 0,35 | 1,86 | 0,89 | 1,65 | 0,84 | 0,42 | 53,00 | 0,02 | 0,03 |
| Tubérculos | | | | | | | | | |
| Papa | 0,72 | 0,39 | 0,12 | 0,05 | 18,52 | 0,42 | 26,00 | 0,04 | 0,02 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en juicio de expertos.

Para el cálculo de la generación de residuos de cultivos se emplearon las siguientes ecuaciones:

Ecuación 26. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: residuos de cultivos anuales generados anualmente

$$Res = Prod \times Fact(Res)$$

Donde:

- Res = Residuos de cultivo generados anualmente (t ms año⁻¹),
- $Prod$ = Producción anual del cultivo (t ms año⁻¹),
- $Fact(Res)$ = Factor Residuos (fracción ms).

Ecuación 27. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: producción anual de cultivos anuales.

$$Prod = Rend \times Sup$$

Donde:

- $Prod$ = Producción anual (t ms año⁻¹),
- $Rend$ = Rendimiento del cultivo (t ms ha año⁻¹),
- Sup = Superficie anual cultivada (ha año⁻¹).

Ecuación 28. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: factor residuos de cultivos anuales

$$Fact(Res) = ((1 - IC) \div IC) \times Frac(MS)$$

Donde:

- $Fact(Res)$ = Factor Residuos (fracción ms),
- IC = Índice de Cosecha,
- $Frac(MS)$ = Fracción de materia seca de los residuos.

Ecuación 29. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: residuos de forrajeras generados anualmente

$$Res = Prod \times Fact(Res)$$

Donde:

- Res = Residuos de cultivo generados anualmente (t ms año⁻¹),
- $Prod$ = Producción anual de materia seca (t ms año⁻¹),
- $Fact(Res)$ = Factor Residuos (fracción ms).

Ecuación 30. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: producción anual de materia seca en forrajeras

$$Prod = Rend \times Sup$$

Donde:

- $Prod$ = Producción anual de materia seca (t ms año⁻¹),
- $Rend$ = Rendimiento anual del cultivo (t ms ha año⁻¹),
- Sup = Superficie anual cultivada (ha año⁻¹).

Ecuación 31. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: factor residuos de forrajeras

$$Fact(Res) = Rend \times Declive + Intercept$$

Donde:

- $Fact(Res)$ = Factor Residuos (fracción ms),
- $Rend$ = Rendimiento anual del cultivo (t ms ha año⁻¹),
- $Declive$ = Parámetro desconocido proveniente de las *Directrices IPCC de 2006*,
- $Intercept$ = Parámetro desconocido proveniente de las *Directrices IPCC de 2006*.

A continuación, se presentan los criterios elaborados por juicio de expertos para determinar la distribución de los residuos agrícolas según destino final, por cultivo o rubro.

Tabla 281. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: asignación de los destinos finales de los residuos vegetales de cultivos anuales, por cultivo.

| Cultivo | Consumo animal in situ | | Enfarda | | Incorporación al suelo | | Quema in situ | |
|--|------------------------|------|---------|------|------------------------|------|---------------|------|
| | 1990 | 2018 | 1990 | 2018 | 1990 | 2018 | 1990 | 2018 |
| Cultivos industriales principales | | | | | | | | |
| Lupino australiano, l. amargo y l. dulce | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% | 100% | 0% | 0% |
| Raps | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% | 100% | 0% | 0% |
| Remolacha | 80% | 80% | 0% | 0% | 20% | 20% | 0% | 0% |
| Tomate industrial | 10% | 1% | 10% | 20% | 48% | 74% | 32% | 6% |
| Cultivos de cereales | | | | | | | | |
| Arroz | 10% | 1% | 10% | 20% | 48% | 74% | 32% | 6% |
| Avena | 10% | 1% | 10% | 20% | 48% | 74% | 32% | 6% |
| Cebada cervecera y forrajera | 10% | 35% | 10% | 20% | 48% | 74% | 32% | 6% |
| Maíz | 5% | 5% | 0% | 0% | 95% | 95% | 0% | 0% |
| Trigo blanco y candeal | 10% | 1% | 10% | 20% | 48% | 74% | 32% | 6% |
| Triticale | 10% | 1% | 10% | 20% | 48% | 74% | 32% | 6% |
| Leguminosas y tubérculos | | | | | | | | |
| Papa | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% | 100% | 0% | 0% |
| Poroto consumo interno y exportación | 30% | 30% | 40% | 40% | 30% | 30% | 0% | 0% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en juicio de expertos

5.7.5.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión de GEI corresponden a valores por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 282).

Tabla 282. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: factores de emisión por defectos aplicados para emisiones no CO₂ por quema de biomasa en Tierras de cultivo

| Parámetro/Factor de emisión | Valor | Unidad |
|---------------------------------------|-------|--|
| Factor de emisión de CH ₄ | 2,7 | g CH ₄ (kg ms biomasa) ⁻¹ |
| Factor de emisión de N ₂ O | 0,07 | g N ₂ O (kg ms biomasa) ⁻¹ |
| Factor de combustión | 0,9 | Sin unidad |

Fuente: Cuadro 2.5; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

5.7.5.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría ha sido estimada para CH₄ y N₂O de forma separada y por cada componente. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 283. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--|------------------|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 3.F.1. | Cereales y otros cultivos | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 50,0% | 30,0% | 66,5% | 53,1% |
| 3.F.1. | Cereales y otros cultivos | N ₂ O | 43,9% | 43,9% | 50,0% | 30,0% | 66,5% | 53,1% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.7.5.5. Consistencia de la serie temporal

Dado que se realizaron mejoras al incorporar datos de actividad de quema de biomasa de cultivos para 2008-20018, y para mantener la consistencia en la serie temporal, es que, se realizó una estimación porcentual de la quema de residuos para la serie 1990-2007. La estimación porcentual obtenida, tiene directa relación con la superficie del tipo de cultivo, su rendimiento, sumado al juicio experto y los datos de actividad entregados por CONAF. Con todo lo anterior es que se pudo completar la serie temporal, sumado a que se realizó una interpolación lineal sobre los porcentajes obtenidos para con ello poder obtener la cantidad de quema de residuos para toda la serie.

5.7.5.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.7.5.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Agricola", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.7.5.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico de Agricultura ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de AFOLU como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Un resumen del estado de avance de cada recomendación se encuentra en el ANEXO 11.02.

5.7.5.6.3. Verificación

Por el momento no se cuenta con datos de otras fuentes (nacionales o internacionales) con los cuales se pueda comparar los resultados.

5.7.5.7. Recálculos

5.7.5.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría se realizaron mejoras metodológicas y de los datos de actividad al incorporar datos de actividad de quema de biomasa de cultivos de cereales no-maíz y no-arroz para los años 2008-2018. Estos datos provienen de CONAF, y considera las hectáreas por cultivo y año para las cuales se obtuvieron permisos de quema. Se modificó también la estimación de quema en 2007, lo cual aumentó toda la serie de estimación lineal de quema de biomasa de estos cereales desde 1990. Entendiendo que las condiciones climáticas y regulaciones incluyen el uso de la quema agrícola de año a año, los datos de esta práctica provistos por CONAF mostraron consistencia adecuada para su uso directo como datos de actividad.

5.7.5.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

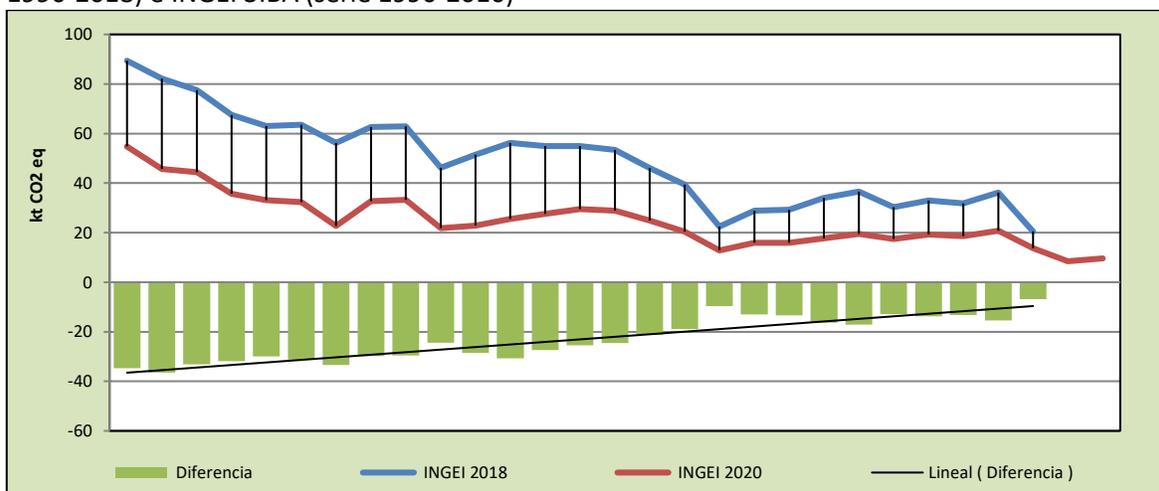
En la Tabla 284 y Figura 129 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe principalmente al ajuste de los datos de actividad. Esto generó una disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría en un promedio de 25,9 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 284. 3.F.1. Cereales: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|
| INGEI 3IBA | 89,4 | 51,4 | 34,1 | 33,0 | 20,5 | | |
| INGEI 4IBA | 55,1 | 32,1 | 24,9 | 28,4 | 21,4 | 11,3 | 12,1 |
| Diferencia | -34,3 | -19,3 | -9,1 | -4,6 | 0,9 | | |
| Diferencia % | -62,3% | -60,3% | -36,7% | -16,1% | 4,3% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

Figura 129. 3.F.1. Cereales: comparación entre emisiones de CH₄ (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

5.7.5.8. Plan de mejoramiento

Sería deseable estimar de manera más precisa el volumen de nitrógeno incorporado al suelo por parte de las actividades agrícolas. Los destinos de residuos enfardo y consumo animal en campo, se podrían mejorar considerando juicios expertos regionales.

5.7.6. Frutícolas (3.F.2.)

5.7.6.1. Descripción de la subcategoría

Esta categoría incluye las emisiones de CH₄ y N₂O generadas por la quema de residuos agrícolas en huertos frutales.

En el contexto nacional, se incluyen al INGEI de Chile diversas especies animales agrupadas en los siguientes componentes:

- Frutales mayores caducifolios;
- Frutales mayores perennifolios;
- Frutales menores;
- Viñas y parronales

5.7.6.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018 (Tabla 277 y Figura 128), las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 22,3 kt CO₂ eq (representando el 64,8 % de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo en un 64,3 % desde 1990 y aumentando en un 2,3 % desde 2016. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la prohibición y control existente sobre la quema de residuos, lo que ha generado cambios en la disposición final de estos residuos.

5.7.6.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para todas sus componentes, mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla 285 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 285. 3.F.2. Frutícolas: métodos aplicados por tipo de cultivo

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|-------------|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.F.2. | Frutícolas | | | T1 | D | T1 | D |

T1 = Nivel 1; D = Por defecto

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Para determinar las emisiones de GEI se aplicó una metodología país específica, pues se desarrolló una desagregación a nivel regional y una desagregación por componente operacional, que consistió en la utilización de criterio experto para determinar la fracción de los residuos que se destinan a la quema en el campo.

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de Agricultura con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006* y la Ecuación 2.27; Capítulo 2; Volumen 4; de las mismas

5.7.6.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos paramétricos necesarios fueron una combinación de valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, valores nacionales de CONAF y juicio de expertos. Se aplicaron los mismos datos estadísticos ocupados en la categoría de Cereales.

Los datos de actividad estadísticos empleados para obtener la asignación de residuos agrícolas según destino final son datos de superficie cultivada por rendimiento y factor de residuos por cultivo.

Para el cálculo de la generación de residuos de cultivos se emplearon la Ecuación 26, Ecuación 27, Ecuación 28, Ecuación 29, Ecuación 30 y Ecuación 31, con base en los datos de frutícolas.

A continuación, se presentan los criterios elaborados por juicio de expertos para determinar la distribución de los residuos agrícolas según destino final, por cultivo o rubro.

Tabla 286. 3.F.2. Frutícolas: asignación de los destinos finales de los residuos vegetales.

| Cultivo | Leña | | Quema en campo | | Incorporación al suelo | |
|---------------------------------------|----------------|-----------------------------------|----------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| | Restos de poda | Biomasa por renovación del huerto | Restos de poda | Biomasa por renovación del huerto | Restos de poda | Biomasa por renovación del huerto |
| Frutales Mayores Caducifolios | | | | | | |
| Almendra | 25% | 30% | 10% | 5% | 65% | 65% |
| Cerezo | 10% | 15% | 3% | 5% | 87% | 80% |
| Ciruelo europeo | 35% | 40% | 10% | 5% | 55% | 55% |
| Ciruelo japonés | 35% | 40% | 20% | 15% | 45% | 45% |
| Duraznero consumo fresco | 25% | 30% | 10% | 5% | 65% | 65% |
| Duraznero tipo conservero | 25% | 30% | 15% | 5% | 60% | 65% |
| Kiwi | 10% | 15% | 10% | 5% | 80% | 80% |
| Manzano rojo | 40% | 45% | 10% | 5% | 50% | 50% |
| Manzano verde | 50% | 55% | 10% | 5% | 40% | 40% |
| Nectarino | 25% | 30% | 10% | 5% | 65% | 65% |
| Nogal | 60% | 65% | 10% | 5% | 30% | 30% |
| Peral | 40% | 45% | 10% | 5% | 50% | 50% |
| Frutales Mayores Perennifolios | | | | | | |
| Limonero | 10% | 15% | 10% | 5% | 80% | 80% |
| Naranja | 10% | 15% | 10% | 5% | 80% | 80% |
| Olivo | 10% | 15% | 10% | 5% | 80% | 80% |
| Palto | 10% | 15% | 10% | 5% | 80% | 80% |
| Frutales Menores | | | | | | |
| Arándano americano | 0% | 0% | 10% | 10% | 90% | 90% |
| Avellano | 10% | 10% | 10% | 10% | 80% | 80% |
| Frambuesa | 0% | 0% | 10% | 10% | 90% | 90% |
| Viñas y Parronales | | | | | | |
| Vid de mesa | 0% | 5% | 10% | 5% | 90% | 90% |
| Vid pisquera | 20% | 25% | 20% | 15% | 60% | 60% |
| Vid vinífera | 20% | 25% | 10% | 5% | 70% | 70% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en juicio de expertos

5.7.6.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión de GEI corresponden a valores por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 282).

5.7.6.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para el CH₄ y N₂O de cada componente. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 287. 3.F.2. Huertos frutales: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--|------------------|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 3.F.2. | Huertos frutales | CH ₄ | 43,9% | 43,9% | 50,0% | 30,0% | 66,5% | 53,1% |
| 3.F.2. | Huertos frutales | N ₂ O | 43,9% | 43,9% | 50,0% | 30,0% | 66,5% | 53,1% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.7.6.5. Consistencia de la serie temporal

Dado que se realizaron mejoras al incorporar datos de actividad de quema de biomasa de cultivos para 2008-2018 (entregados por CONAF) y para mantener la consistencia en la serie temporal, es que, se realizó una estimación de la quema de residuos para 1990-2007. La estimación porcentual obtenida, tiene directa relación con la superficie del tipo de especie y su rendimiento. Esto fue complementado con juicio experto y los datos de actividad entregados por CONAF.

5.7.6.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.7.6.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Agricola", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.

- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.7.6.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico de Agricultura ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de AFOLU como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*.

5.7.6.6.3. Verificación

Hasta donde fue factible, los datos paramétricos de distribución en campo fueron validados por medio de consultas a expertos INIA en las distintas regiones.

5.7.6.7. Recálculos

5.7.6.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría se realizaron mejoras metodológicas y datos de actividad al incorporar datos de actividad de quema de biomasa de cultivos de huertos frutales para los años 2008-2018, provistos por CONAF, en base a solicitudes de permisos de quema. Se confía en que los datos entregados describen con una gran certeza la mayoría de la quema que se efectúa. Se modificó también la estimación de quema en 2007, lo cual aumentó toda la serie de estimación lineal de quema de biomasa de estos cereales desde 1990. Entendiendo que las condiciones climáticas y regulaciones incluyen el uso de la quema agrícola de año a año, los datos de esta práctica provistos por CONAF mostraron consistencia adecuada para su uso directo como datos de actividad.

5.7.6.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

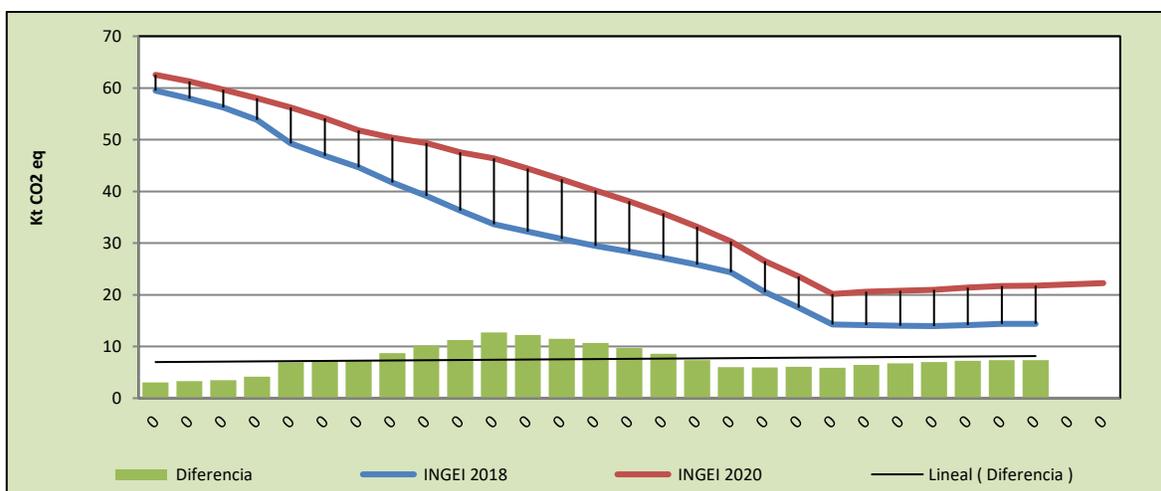
En la Tabla 288 y Figura 130 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe principalmente al ajuste de los datos de actividad.

Tabla 288. 3.F.2. Frutícolas: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|------|
| INGEI 3IBA | 59,5 | 33,6 | 14,3 | 13,9 | 14,4 | | |
| INGEI 4IBA | 62,5 | 46,4 | 20,1 | 20,9 | 21,8 | 22,0 | 22,3 |
| Diferencia | 3,1 | 12,7 | 5,9 | 7,0 | 7,4 | | |
| Diferencia % | 4,9% | 27,4% | 29,3% | 33,4% | 34,0% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

Figura 130. 3.F.2. Frutícolas: comparación entre emisiones de CH₄ (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

5.7.6.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las mismas que corresponde al componente de cereales de esta subcategoría.

5.8. Encalado (3.G.)

5.8.1. Descripción de la categoría

La categoría *Encalado* corresponde a las emisiones de CO₂ generadas por el uso de calcita y dolomita en los suelos agrícolas, así como en suelos de bosques gestionados o lagos, ya que las cales al disolverse liberan bicarbonato (2HCO₃⁻), que se convierte en CO₂ y agua (H₂O). La utilización de calcita y dolomita por parte del sector agrícola en Chile se debe a la declinación en la fertilidad de los cultivos y la acidificación de los suelos debido a la práctica intensiva, extractiva y utilización masiva de fertilizantes acidificantes, entre otros factores. Gracias al uso de la calcita y la dolomita se logra mejorar el pH de los suelos y con ello la productividad perdida. Con respecto a los datos de actividad la mayoría de los datos corresponde a información proporcionada por el sector privado sobre estimaciones de producción y venta, sumado a los datos de importación proporcionados por el Servicio de Aduanas, pudiendo con ello generar una estimación sobre la cantidad de calcita y dolomita utilizados para fines agrícolas.

5.8.2. Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Encalado* es la sexta categoría emisora de GEI del sector Agricultura, representando el 0,6 % de las emisiones de GEI del sector. En 2018 (Tabla 289 y Figura 131), sus emisiones de GEI contabilizaron 75,1 kt CO₂ eq, incrementándose en un 143,7 % desde 1990 y disminuyendo en un 15,1 % desde 2016. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la variabilidad de la importación de calcita y dolomita en los últimos años. De hecho, en los últimos años ha existido una reducción en las importaciones de dolomita y en menor grado de calcita. Esto

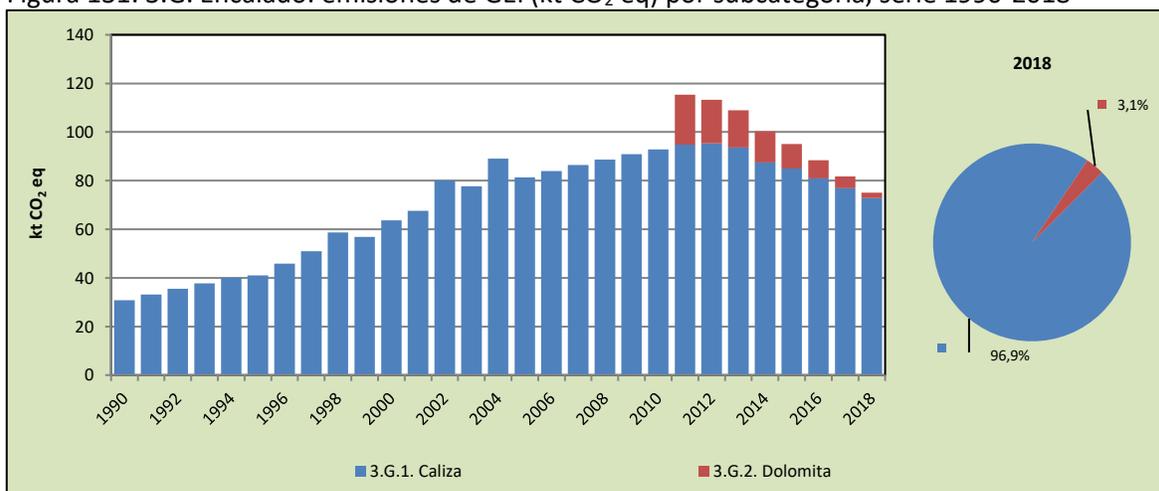
podría estar asociado a que los suelos que han estado bajo un proceso de encalado en el pasado han llegado a una situación de pH adecuado, requiriendo sólo dosis de mantención, lo que ha resultado en una menor demanda de materiales encalantes en el sector agropecuario y, por consiguiente, de su importación.

Tabla 289. 3.G. Encalado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 3.G.1. Caliza | 30,8 | 63,6 | 92,9 | 93,6 | 80,9 | 76,8 | 72,8 |
| 3.G.2. Dolomita | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 15,3 | 7,5 | 4,9 | 2,3 |
| Total | 30,8 | 63,6 | 92,9 | 108,9 | 88,4 | 81,7 | 75,1 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Figura 131. 3.G. Encalado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.8.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para todas sus subcategorías, mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla 290 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 290. 3.G. Encalado: métodos aplicados por subcategoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.G.1. Caliza | T1 | D | | | | |
| 3.G.2. Dolomita | T1 | D | | | | |

T1 = Nivel 1; D = Por defecto

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de Agricultura con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

5.8.3.1. Datos de actividad de la categoría

Durante este proceso de actualización no se encontraron estadísticas oficiales del consumo de cal o dolomita. Para la estimación se empleó como información base aquella obtenida y empleada en el inventario anterior (que fue obtenida vía comunicación personal con diferentes organismos y entidades que tenían información sobre la cantidad de uso de cal).

Tabla 291. 3.G. Encalado: consumo nacional anual de caliza (t) y dolomita (t) aplicado a los suelos agrícolas, serie 1990-2018

| Año | Valor (t) |
|------|-----------|
| 1990 | 70.000,0 |
| 1991 | 75.300,0 |
| 1992 | 80.600,0 |
| 1993 | 85.900,0 |
| 1994 | 91.200,0 |
| 1995 | 93.300,0 |
| 1996 | 104.200,0 |
| 1997 | 115.800,0 |
| 1998 | 133.400,0 |
| 1999 | 129.300,0 |
| 2000 | 144.600,0 |
| 2001 | 153.500,0 |
| 2002 | 182.300,0 |
| 2003 | 176.500,0 |
| 2004 | 202.500,0 |
| 2005 | 184.833,4 |
| 2006 | 190.727,0 |
| 2007 | 196.300,8 |
| 2008 | 201.554,9 |
| 2009 | 206.489,3 |
| 2010 | 211.104,0 |
| 2011 | 258.499,0 |
| 2012 | 254.231,6 |
| 2013 | 244.923,2 |
| 2014 | 225.614,8 |
| 2015 | 214.306,4 |
| 2016 | 199.598,0 |
| 2017 | 184.889,6 |
| 2018 | 170.181,2 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

La desagregación regional del consumo de cal se basó en el juicio de expertos aplicado para elaborar el inventario anterior, y que fueron implementados y corroborados al momento de elaborar el actual INGEI (Tabla 292).

Tabla 292. 3.G. Encalado: Distribución regional del consumo caliza y dolomita, según juicio experto

| Consumo (%) | Caliza | Dolomita |
|------------------------|--------|----------|
| Región de Biobío | 10% | 10% |
| Región de la Araucanía | 30% | 30% |
| Región de Los Ríos | 29% | 29% |
| Región de Los Lagos | 31% | 31% |
| Otras regiones | 0% | 0% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI en base a juicio experto.

5.8.3.2. Factores de emisión

Para calcular las emisiones de CO₂ provenientes del *Encalado*, se utilizó el factor de emisión por defecto, proveniente de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Tabla 293. 3.G. Encalado: Factores de emisión por defecto para caliza y dolomita

| Caliza (t C / t caliza) | Dolomita (t de C / t dolomita) |
|-------------------------|--------------------------------|
| 0,12 | 0,13 |

Fuente: Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

5.8.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para el CO₂. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 294. 3.G. Encalado: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------|-----------------|---|-------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 3.G. | Encalado | CO ₂ | 71,1% | 71,1% | 50,0% | 50,0% | 86,9% | 86,9% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.8.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Para el caso de la dolomita se obtuvo información de la importación de este producto, solo para dos años (2011 y 2016), por lo cual para cubrir los años que se encuentra entre estos dos datos, se realizó una interpolación. Para los demás años de la serie (1990 al 2010), por decisión del Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI se optó por no realizar una extrapolación de los datos, ya que no se cuenta con información sobre la cantidad de importación o producción nacional de la dolomita para el uso agrícola.

5.8.6. Procedimientos de garantía y control de la calidad y verificación

5.8.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2018_SGCC_3AGRI*.

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Agricola", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.8.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico de Agricultura ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*.

5.8.6.3. Verificación

No se realizaron procedimientos de verificación.

5.8.7. Recálculos

5.8.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se realizó el recálculo de la serie completa 1990-2018 dado la incorporación de la nueva región del Ñuble al cálculo del INGEI.

5.8.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

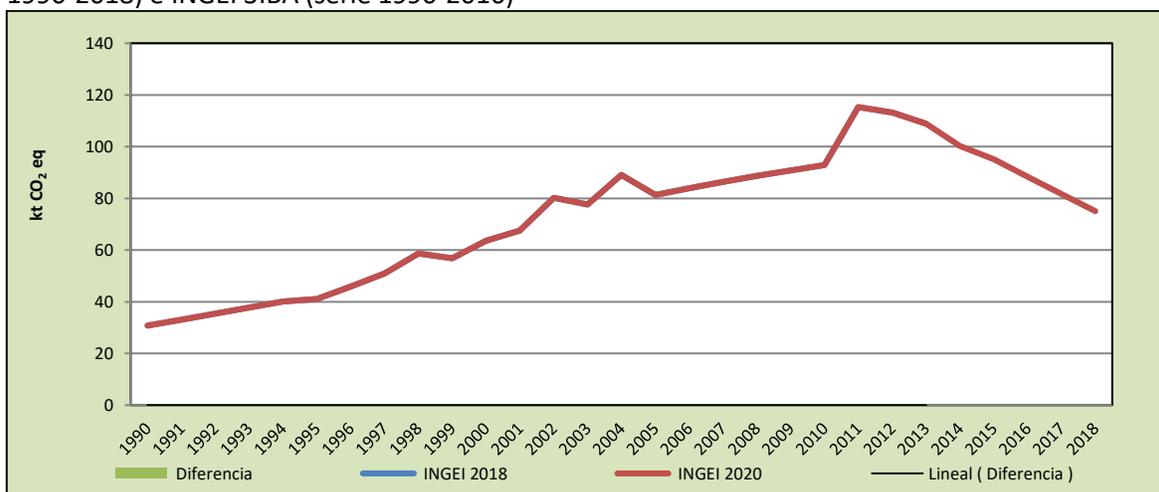
En la Tabla 295 y Figura 132 se observa que no variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA), debido a que se usaron los mismos datos estadísticos y paramétricos del inventario anterior.

Tabla 295. 3.G. Encalado: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|------|------|------|-------|------|------|------|
| INGEI 3IBA | 30,8 | 63,6 | 92,9 | 108,9 | 88,4 | | |
| INGEI 4IBA | 30,8 | 63,6 | 92,9 | 108,9 | 88,4 | 81,7 | 75,1 |
| Diferencia | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| Diferencia % | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

Figura 132. 3.G. Encalado: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

5.8.8. Plan de mejoramiento

Pese a que el encalado no es una categoría principal, se reconoce la necesidad de contar con mejor información del consumo de cal en suelos agrícolas, desagregado por tipo de enmienda, región y tipo de cultivos.

5.9. Aplicación de urea (3.H.)

5.9.1. Descripción de la categoría

La categoría “*Aplicación de urea*” tiene relación con la generación de emisiones de CO₂ producto de la aplicación de urea a los suelos cultivados. El agregado de urea a los suelos durante la fertilización conduce a una pérdida de CO₂ que se fija en el proceso de producción industrial. La urea (CO(NH₂)₂) se convierte en amonio (NH₄⁺), ión hidroxilo (OH⁻), y bicarbonato (HCO₃⁻) en presencia de agua y de enzimas de ureasa. De manera similar a la reacción del suelo cuando se le agrega cal, el bicarbonato que se forma se convierte en CO₂ y agua.

Como resultado del cálculo de las emisiones de CO₂ generadas por el uso de urea en los suelos agrícolas. En el contexto nacional, la urea es el principal fertilizante usado en el sector agrícola con una fuerte alza de su demanda en el tiempo.

5.9.2. Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Aplicación de urea* es la cuarta categoría emisora de GEI del sector *Agricultura*, representando el 3,1 % de las emisiones de GEI del sector. En 2018, sus emisiones de GEI contabilizaron 365,7 kt CO₂ eq, incrementándose en un 111,8 % desde 1990, pero disminuyendo en un 4,1 % desde 2016. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la variación en las importaciones y que tienen relación directa con el aumento del uso como de la variación del precio internacional.

5.9.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla 296 se observa un resumen de los métodos aplicados en la categoría por tipo de GEI.

Tabla 296. 3.H. Aplicación de urea: métodos aplicados por componente

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 3.H. Aplicación de Urea | T1 | D | | | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta categoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de Agricultura con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*. Para el cálculo se utilizó la Ecuación 11.13; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

5.9.3.1. Datos de actividad de la categoría

Tal como lo indica las *Directrices del IPCC de 2006* para el cálculo de las emisiones de GEI de esta categoría debe contar, recopilar y obtener la mejor información disponible, es por ello por lo que la información recopilada para esta categoría fueron las toneladas de urea que se aplican anualmente a las tierras de cultivo en el país, reportadas por ODEPA. La fuente provee datos de consumo aparente de urea a nivel nacional, es decir, la diferencia entre las importaciones y exportaciones de urea, ya que existe producción nacional de urea. ODEPA mantiene una base de datos de fertilizantes nitrogenados y urea, que es recopilada con información entregada por el Servicio Nacional de Aduana que aporta información sobre las importaciones y exportaciones de estos insumos. Los datos sobre importaciones y exportaciones (serie temporal 1990-2018) de urea en el país se encuentran disponibles en la siguiente página web de ODEPA (<http://www.odepa.gob.cl/avance-por-grupos-de-productos>). Para poder realizar la desagregación de la información obtenida de consumo aparente de urea a nivel regional, se utilizó la información de la superficie cultivada a nivel regional de acuerdo con del *Censo Agropecuario y Forestal 2007*. La desagregación de datos de urea se realizó de acuerdo con la distribución porcentual de la superficie cultivada. De esta forma, los consumos regionales fueron estimados en función del peso relativo de la superficie cultivada regional sobre el total nacional.

La categoría *Aplicación de urea* no requiere de datos de actividad paramétricos adicionales. Solo los correspondientes a la distribución regional que se realizó con los datos del *Censo Agropecuario 2007*

Tabla 297. 3.H. Aplicación de urea: Aporte regional de la superficie cultivada a la actividad agrícola nacional según el Censo Agropecuario y Forestal 2007.

| Región | Superficie cultivada (ha) | Contribución regional a la actividad agrícola |
|--------------------|---------------------------|---|
| Arica y Parinacota | 6.621 | 0,4% |
| Tarapacá | 2.634 | 0,2% |
| Antofagasta | 1.728 | 0,1% |
| Atacama | 18.912 | 1,1% |
| Coquimbo | 144.950 | 8,5% |
| Valparaíso | 92.215 | 5,4% |
| Metropolitana | 139.739 | 8,2% |
| O'Higgins | 222.129 | 13,0% |
| Maule | 267.741 | 15,6% |
| Ñuble | 133.661 | 7,8% |
| Biobío | 127.097 | 7,4% |
| Araucanía | 322.488 | 18,8% |
| Los Ríos | 100.761 | 5,9% |
| Los Lagos | 107.572 | 6,3% |
| Aysén | 17.523 | 1,0% |
| Magallanes | 6.751 | 0,4% |
| Total | 1.712.531 | 100,0% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

Tabla 298. 3.H. Aplicación de urea: Consumo nacional de urea (t) de acuerdo con ODEPA para la serie temporal 1990-2018.

| Año | Consumo Nacional (t) |
|------|----------------------|
| 1990 | 235.830,5 |
| 1991 | 266.656,0 |
| 1992 | 288.921,7 |
| 1993 | 290.029,8 |
| 1994 | 274.920,0 |
| 1995 | 307.056,3 |
| 1996 | 406.070,8 |
| 1997 | 284.822,2 |
| 1998 | 323.026,7 |
| 1999 | 371.289,5 |
| 2000 | 413.006,2 |
| 2001 | 372.820,5 |
| 2002 | 420.781,3 |
| 2003 | 468.016,7 |
| 2004 | 479.088,7 |
| 2005 | 402.570,0 |
| 2006 | 425.537,5 |
| 2007 | 420.891,7 |
| 2008 | 467.439,6 |
| 2009 | 410.901,5 |
| 2010 | 514.531,4 |
| 2011 | 509.790,6 |
| 2012 | 507.637,2 |
| 2013 | 545.968,1 |
| 2014 | 520.266,2 |
| 2015 | 590.498,1 |
| 2016 | 486.988,0 |
| 2017 | 493.984,8 |
| 2018 | 500.299,9 |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI en base a datos de ODEPA y Servicio Nacional de Aduanas.

5.9.3.2. Factores de emisión

Para calcular las emisiones de CO₂ provenientes de la aplicación de urea a las tierras de cultivo, se utilizó el factor de emisión por defecto (nivel 1) que provee las *Directrices del IPCC de 2006*, el cual corresponde a 0,20 t C t⁻¹ urea para emisiones de carbono por aplicaciones de urea (Volumen 4, Capítulo 11, pág. 11.32).

5.9.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta categoría, para el 2018, ha sido estimada para el CO₂. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 299. 3.H. Aplicación de urea: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | Incertidumbre en el factor de emisión | Incertidumbre combinada |
|-------------|--------------------|-----|---|---------------------------------------|-------------------------|
|-------------|--------------------|-----|---|---------------------------------------|-------------------------|

| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
|------|--------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 3.H. | Aplicación de urea | CO ₂ | 43,9% | 43,9% | 50,0% | 50,0% | 66,5% | 66,5% |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.9.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.9.6. Procedimientos de garantía y control de la calidad y verificación

5.9.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*.

5.9.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector Agricultura, el Equipo Técnico de Agricultura ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_3AGRI*. Un resumen del estado de avance de cada recomendación se encuentra en el ANEXO 11.02.

5.9.7. Verificación

Por el momento no se cuenta con datos de otras fuentes (nacionales o internacionales) con los cuales se pueda comparar los resultados.

5.9.8. Recálculos

5.9.8.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se realizó el recálculo de la serie completa 1990-2018 dado la incorporación de la nueva región del Ñuble al cálculo del INGEI, sumado a esto ODEPA realizó un refinamiento en los datos sobre el consumo total de urea a nivel nacional.

5.9.8.2. Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 300 y Figura 133 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La mínima diferencia existente se debe principalmente

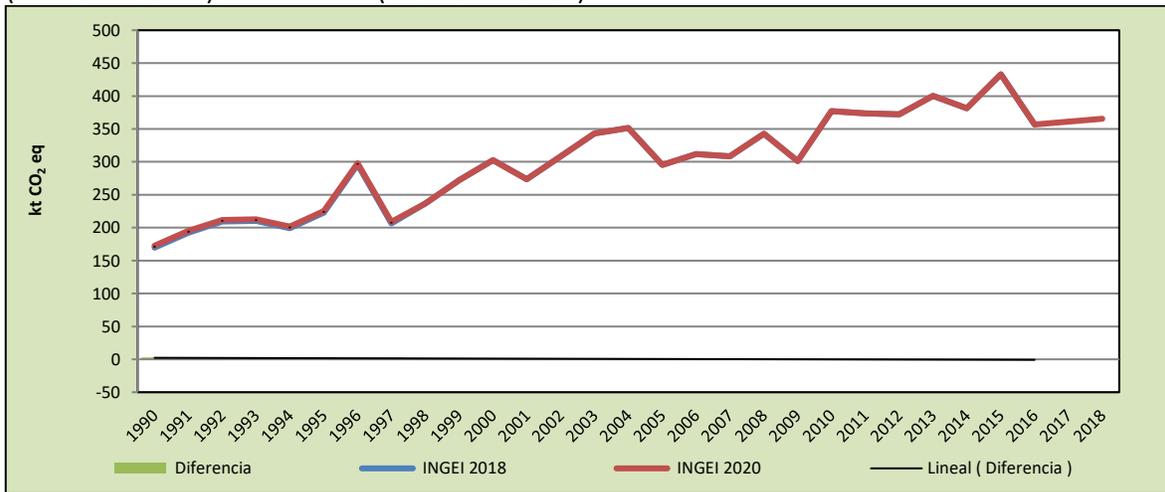
al ajuste de los datos de actividad realizados por ODEPA. Esto generó un aumento de las emisiones de GEI de la categoría en un promedio de 0,7 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 300. 3.H. Aplicación de urea: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| INGEI 3IBA | 169,7 | 302,9 | 377,2 | 400,4 | 357,0 | | |
| INGEI 4IBA | 172,6 | 302,9 | 377,2 | 400,4 | 357,0 | 361,2 | 365,7 |
| Diferencia | 3,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| Diferencia % | 1,7% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 3IBA e INGEI 4IBA

Figura 133. 3.H. Aplicación de Urea: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 4IBA e INGEI 3IBA

5.9.9. Plan de mejoramiento

La distribución del consumo nacional de urea de manera regionalizada contribuiría a la mejora de esta categoría. Adicionalmente, las mejoras sugeridas para la categoría 3D contribuirán a la mejora de esta categoría.

5.10. Otros fertilizantes que contienen carbono (3.I.)

En el contexto nacional, esta categoría no ocurre.

5.11. Otros (3.J.)

En el contexto nacional, esta categoría no aplica.

6. SECTOR USO DE LA TIERRA, CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA (4)

6.1. Panorama general

6.1.1. Introducción

El sector Uso de la tierra, cambios en el uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS) incluye las emisiones y absorciones de GEI generadas como resultado del uso, gestión y cambio de uso de la tierra gestionada. Chile reporta las emisiones y absorciones de los siguientes depósitos de carbono (Tabla 301):

- Biomasa (aérea y subterránea),
- Materia orgánica muerta (Madera muerta y hojarasca),
- Materia orgánica del suelo y
- Productos de la madera recolectada (4.G),

Para las seis categorías de uso de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*:

- 4.A. Tierras forestales,
- 4.B. Tierras de cultivo,
- 4.C. Pastizales,
- 4.D. Humedales,
- 4.E. Asentamientos; y
- 4.F. Otras tierras

Se consideran los siguientes GEI:

- CO₂
- CH₄: de incendios y quemas
- N₂O: de incendios y quemas

Cada una de las categorías de uso de la tierra se subdivide en dos subcategorías, *Tierras que permanecen como tales* (4.A.1 – 4.F.1) y que son tierras que no experimentan cambios de uso y permanecen en su categoría; y *Tierras convertidas a otra categoría* (4.A.2 – 4.F.2), que son tierras que desde el momento de la conversión se informan en la categoría a la que se convirtieron durante un período de transición de 20 años; después de 20 años se informan en la subcategoría como Tierras que permanecen como tal.

Tabla 301. Sector UTCUTS: definiciones de los depósitos de carbono utilizados para cada categoría.

| Depósito | | Descripción |
|-------------------------|----------------------------|--|
| Biomasa | Biomasa aérea | Toda la biomasa de la vegetación viva, tanto maderera como herbácea, que se halla por encima del suelo, incluidos tallos, cepas, ramas, corteza, semillas y follaje. |
| | Biomasa subterránea | Toda la biomasa de las raíces vivas. A menudo, las raíces finas, de menos de 2 mm de diámetro (sugerido), se excluyen porque, empíricamente, no se las puede distinguir de la materia orgánica del suelo o de la hojarasca. |
| Materia orgánica muerta | Madera muerta | Incluye toda la biomasa leñosa muerta ya sea en pie, tendida en el suelo o parcialmente enterrada sin incluir la hojarasca. Para la madera muerta tendida en la superficie, considera diámetros mínimos mayores o iguales a 10 centímetros. |
| | Hojarasca | Incluye toda la biomasa no viva con un tamaño mayor que el límite establecido para la materia orgánica del suelo (sugerido 2 mm) y menor que el diámetro mínimo elegido para la madera muerta (p. ej. 10 cm), que yace muerta, en diversos estados de descomposición por encima o dentro del suelo mineral u orgánico. Incluye la capa de hojarasca como se la define habitualmente en las tipologías de suelos. Las raíces vivas finas por encima del suelo mineral u orgánico (por debajo del diámetro mínimo límite elegido para la biomasa subterránea) se incluyen con la hojarasca cuando no se las puede distinguir de esta última empíricamente. |
| Suelos | Materia orgánica del suelo | Incluye el carbono orgánico contenido en suelos minerales hasta una profundidad de 30 cm. Las raíces finas vivas y muertas y la DOM que se encuentran dentro del suelo y que miden menos que el límite de diámetro mínimo (sugerido 2 mm) para raíces y DOM se incluyen con la materia orgánica del suelo cuando no se las puede distinguir de esta última empíricamente. El valor por defecto para la profundidad del suelo es de 30 cm. |

Fuente: Cuadro 1.1; Capítulo 1; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

En el caso nacional, el territorio continental alcanza una superficie de 75,6 millones de hectáreas, y de acuerdo a la clasificación de los usos de la tierra de las *Directrices del IPCC de 2006*, los usos se distribuyen de manera decreciente en: *Otras tierras* (35,1 %), *Pastizales* (28,0 %), *Tierras forestales* (25,7 %), *Humedales* (6,3 %), *Tierras de cultivo* (4,2 %) y los *Asentamientos* ocupan solo un 0,7 % de la superficie total, pero con una tendencia creciente (CONAF, 2019). La superficie insular del país alcanza una superficie de 26.320 ha y no están consideradas en la contabilidad del INGEI porque no se ha levantado información del uso de la tierra aún y, de acuerdo con lo informado por CONAF, se espera contar con esta información en la próxima actualización del INGEI. La Tabla 302 presenta los usos de la tierra para el territorio continental para algunos años de la serie temporal.

Tabla 302. Uso de la tierra, desagregada por tipo, con base en información de CONAF.

| Uso de la Tierra | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Tierras Forestales | 18.236.954 | 18.795.517 | 19.318.511 | 19.449.754 | 19.435.895 | 19.428.723 | 19.421.551 |
| Tierras de Cultivo | 3.623.632 | 3.394.766 | 3.241.855 | 3.210.089 | 3.167.061 | 3.152.867 | 3.138.674 |
| Pastizales | 22.088.200 | 21.664.647 | 21.215.728 | 21.096.536 | 21.145.464 | 21.164.099 | 21.182.734 |
| Humedales | 4.806.550 | 4.800.243 | 4.795.507 | 4.795.119 | 4.791.726 | 4.790.372 | 4.789.017 |
| Asentamientos | 287.155 | 386.315 | 467.931 | 487.198 | 494.529 | 498.424 | 502.319 |
| Otras Tierras | 26.537.375 | 26.538.380 | 26.540.335 | 26.541.172 | 26.545.192 | 26.545.381 | 26.545.571 |
| Total | 75.579.867 |

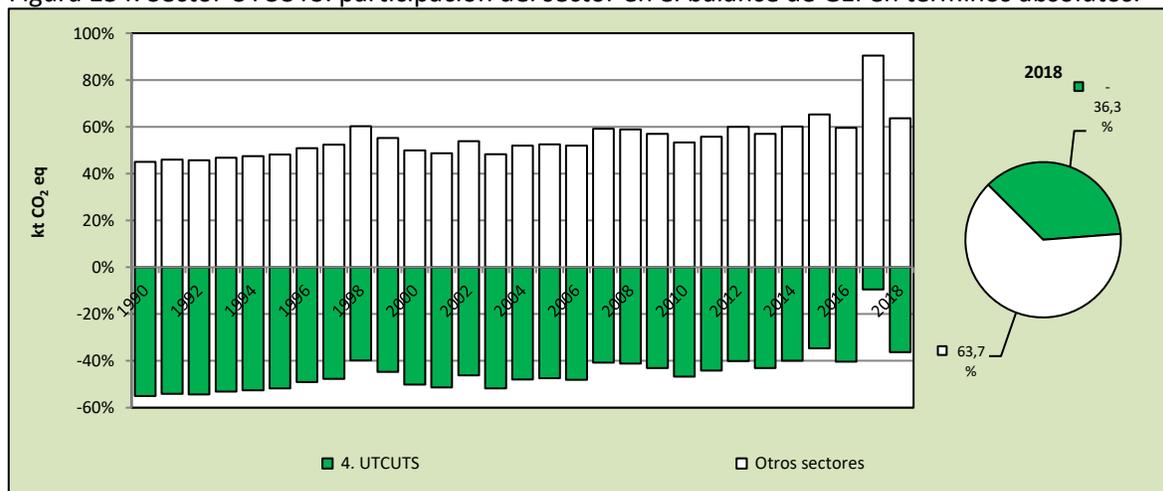
Fuente: Elaboración del Equipo Técnico de UTCUTS en base a CONAF (2019)

Es muy importante señalar que, a diferencia de los otros sectores del INGEI de Chile, las emisiones y absorciones de GEI de este sector se ven especialmente influenciadas por las condiciones climáticas del país, lo que se traduce en una mayor complejidad para realizar las estimaciones de GEI a lo largo de todo el país, ya que cada dato de actividad paramétrico debería ser el fiel reflejo de las condiciones climáticas específicas regionales. En respuesta a esta problemática, el sector *UTCUTS* es estimado a nivel regional y luego nacional para toda la serie temporal.

6.1.2. Tendencia de las emisiones de GEI

El sector UTCUTS es el único sector que consistentemente absorbe CO₂ en el país, convirtiéndolo en el sector más relevante en cuanto a su potencial de mitigación para el país. En 2018 el sector representó el 36,0 % en términos absolutos del balance de GEI del país (Figura 134).

Figura 134. Sector UTCUTS: participación del sector en el balance de GEI en términos absolutos.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

En 2018, el balance de GEI del sector contabilizó -63.991,9 kt CO₂ eq, aumentando su condición de sumidero en un 6,4 % desde 1990 y disminuyéndola en un 14,3 % desde 2016 (Tabla 303 y Figura 135). Respecto a las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos por categoría en el año 2018, el 83,2 % corresponde a *Tierras forestales*, seguida de un 10,2 % de *Productos de madera recolectada*, 4,5 % de *Pastizales*, 1,3 % de *Tierras de cultivo*, 0,4 % de *Asentamientos*, 0,4 % de *Otras tierras*, y, finalmente, 0,005% correspondiente a *Humedales*.

Las categorías de *Tierras forestales* y los *Productos de madera recolectada* son las más importantes del sector, manteniendo la condición de sumidero de CO₂ durante toda la serie temporal. En el caso de las *Tierras forestales*, la tendencia a la disminución de la condición de sumidero desde el 2016 al 2018, se debe a que ha disminuido la conversión de tierras a *Tierras forestales* en los últimos años de la serie temporal y hay un aumento de la cosecha de trozas. Además, por su importancia en el balance de UTCUTS, cualquier aumento o disminución de las emisiones o absorciones de *Tierras forestales* afecta significativamente a todo el sector, e incluso al balance general del INGEI de Chile. Un buen ejemplo de ello es el significativo aumento del balance en emisiones de GEI en 1998, 2002, 2015 y que en el 2017 tiene el mayor impacto, que fue consecuencia directa de las emisiones de GEI generadas por incendios forestales de bosque nativo y plantaciones forestales.

También es importante destacar la contribución de los *Productos de madera recolectada* los que han aumentado su contribución en la serie temporal en directa relación con el aumento de la producción de madera aserrada, tableros y papeles y cartones, que son los productos que se consideran en esta categoría y dentro de estos, los más relevantes son la madera aserrada y los tableros por el mayor tiempo de permanencia del carbono en el producto, de acuerdo con la

metodología de las *Directrices del IPPC de 2006*. La contribución de esta categoría se ve afectada por el mercado, y en la serie temporal el mayor impacto se ve en el año 2009.

El resto de las categorías explican sus emisiones en los cambios de usos de la tierra durante la serie temporal. Los *Pastizales* presentan emisiones debido principalmente a la conversión de *Tierras forestales* a *Pastizales* las que, si bien han disminuido durante la serie temporal, presentan un leve aumento desde el año 2014 al 2018. Las *Tierras de cultivo* tienen emisiones asociadas a la conversión tanto de *Tierras forestales* como de *Pastizales* a *Tierras de cultivo*. La categoría *Otras tierras* registra emisiones asociadas a la conversión de tierras, donde las *Tierras forestales* convertidas a *Otras Tierras* es la que tiene mayor impacto en las emisiones. En el caso de *Asentamientos*, las emisiones se asocian a la conversión de *Tierras Forestales*, *Tierras de Cultivo*, *Pastizales*, y *Humedales* a *Asentamientos*, relacionado directamente con el crecimiento poblacional y por ende de los asentamientos urbanos del país. Por último, la categoría de *Humedales* registra emisiones asociadas a la conversión de tierras, no obstante, ha disminuido notoriamente esta conversión y por tanto la emisión en los últimos años de la serie temporal.

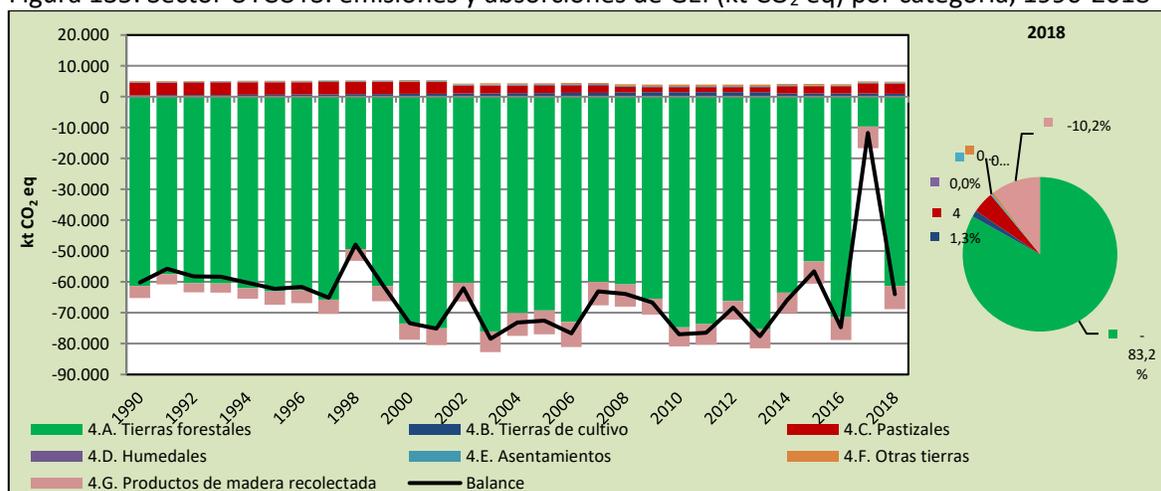
Es importante destacar en la serie temporal, el efecto de los incendios, que alcanzaron un máximo de emisiones en el año 2017 cuando fueron afectadas 570.000 ha por incendios en *Tierras forestales*, *Tierras de cultivo* y *Pastizales*.

Tabla 303. Sector UTCUTS: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría

| Categoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 4.A. Tierras forestales | -61.251,5 | -73.421,7 | -74.661,9 | -75.282,5 | -71.367,8 | -9.650,9 | -61.344,3 |
| 4.B. Tierras de cultivo | 463,9 | 915,3 | 1.460,4 | 1.453,7 | 1.025,6 | 1.035,4 | 995,0 |
| 4.C. Pastizales | 4.133,4 | 3.873,7 | 1.634,2 | 1.659,1 | 2.397,4 | 3.330,7 | 3.307,7 |
| 4.D. Humedales | 84,7 | 84,7 | 42,9 | 42,9 | 4,4 | 3,6 | 3,6 |
| 4.E. Asentamientos | 202,6 | 261,5 | 305,8 | 301,0 | 206,9 | 276,8 | 274,0 |
| 4.F. Otras tierras | 158,6 | 222,1 | 518,1 | 483,8 | 460,9 | 307,6 | 305,7 |
| 4.G. Productos de madera recolectada | -3.944,3 | -5.300,0 | -6.265,9 | -6.219,5 | -7.425,4 | -7.013,5 | -7.533,7 |
| Balance | -60.152,6 | -73.364,3 | -76.966,4 | -77.561,5 | -74.697,9 | -11.710,3 | -63.991,9 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

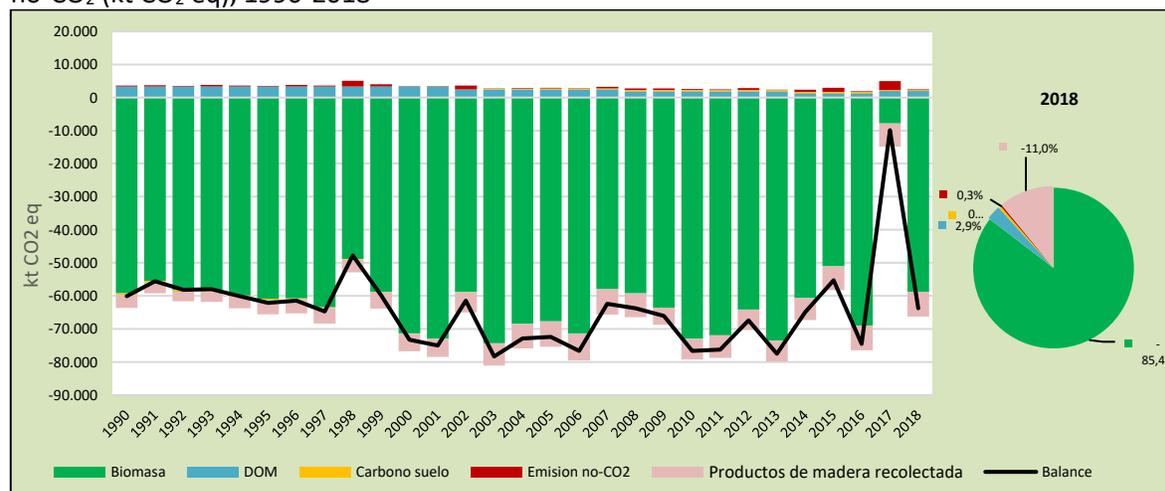
Figura 135. Sector UTCUTS: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

En el caso de los depósitos de carbono, en 2018, el depósito de carbono de la biomasa tuvo una participación en las emisiones y absorciones del sector UTCUTS de un 85,4 %, seguido por los productos de madera recolectada con un 11 %, y la materia orgánica muerta tuvo una participación de 2,9 % (Figura 136). La biomasa y los productos de madera recolectada contribuyen con las absorciones netas en toda la serie temporal, mientras que la materia orgánica muerta contribuye con las emisiones netas ya que las pérdidas de carbono de materia orgánica producto de la conversión de tierras forestales a otros usos de la tierra son mayores a las ganancias de carbono que se producen por la conversión de otros usos de la tierra a tierras forestales. En el caso del carbono del suelo, el impacto se produce en las conversiones de tierra, donde hay una tendencia a la absorción neta hasta el año 2000 y luego esta tendencia se revierte a la emisión neta, porque aumenta la conversión de tierras a *Tierras de cultivo*, principalmente desde *Tierras forestales* y *Pastizales* lo que conlleva a una pérdida de carbono del suelo. Finalmente, también se pueden ver las emisiones de gases no-CO₂, destacándose con mayores emisiones los años 1998, 2002, 2015 y 2017 por la superficie de incendios que fue afectada en esos años.

Figura 136. Sector UTCUTS: emisiones y absorciones por tipo de depósitos de carbono y emisiones no-CO₂ (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

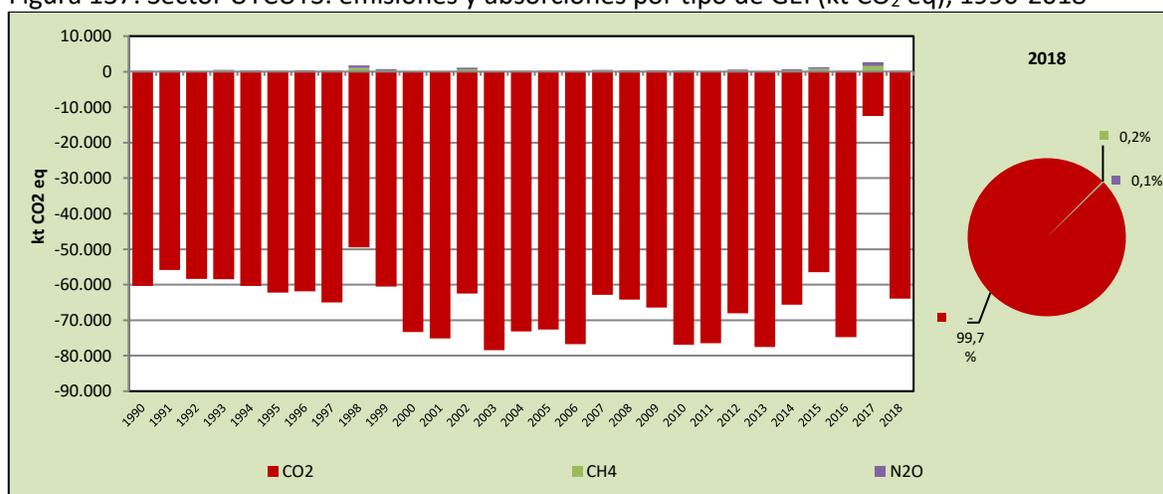
En 2018, el principal GEI de las emisiones y absorciones en términos absolutos fue el CO₂, representando un 99,7 % del sector. Lo sigue el CH₄ con un 0,2 % y el N₂O con un 0,1 % (Tabla 304 y Figura 137).

Tabla 304. Sector UTCUTS: emisiones y absorciones por tipo de GEI (kt CO₂ eq)

| GEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| CO ₂ | -60.380,3 | -73.455,8 | -77.237,5 | -77.623,2 | -74.907,5 | -14.318,6 | -64.184,6 |
| CH ₄ | 137,0 | 55,0 | 162,8 | 37,0 | 126,0 | 1.571,0 | 115,7 |
| N ₂ O | 90,7 | 36,6 | 108,3 | 24,8 | 83,7 | 1.037,4 | 77,0 |
| Balance | -60.152,6 | -73.364,3 | -76.966,4 | -77.561,5 | -74.697,9 | -11.710,3 | -63.991,9 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 137. Sector UTCUTS: emisiones y absorciones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.1.3. Aspectos metodológicos generales del sector

Para la estimación de las emisiones y absorciones de GEI del sector UTCUTS, se aplicó en general el método Nivel 1 y Nivel 2 para todos los usos de tierra. Ambos métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. En la Tabla 305 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 305. Sector UTCUTS: métodos aplicados por categoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 4. UTCUTS | T1, T2, NO, NE | D, CS, NE, NO | T1, T2 | D, CS | T1, T2 | D, CS |
| 4.A. Tierras forestales | T1, T2, NE, NO | D, CS, NE, NO | T1, T2 | D, CS | T1, T2 | CS, D |
| 4.B. Tierras de cultivo | T1, T2, NO | D, CS, NE | T1 | D | T1 | D |
| 4.C. Pastizales | T1, T2, NO | D, CS, NO | T1, T2 | D, CS | T1, T2 | D, CS |
| 4.D. Humedales | T1, T2, NE, NO | D, CS, NE, NO | | | | |
| 4.E. Asentamientos | T1, T2, NE | D, CS, NE | | | | |
| 4.F. Otras tierras | T1, T2, NE, NO | D, CS, NE, NO | T1, T2 | D, CS | T1, T2 | D, CS |
| 4. G. Productos de la Madera Recolectada | T1, T2 | D, CS | | | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta categoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.2. Definiciones de uso de la tierra y los sistemas de clasificación utilizados

El *Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile* (*Catastro* en lo sucesivo) que elabora CONAF, empezó como proyecto en 1993 con el objetivo de elaborar un catastro nacional de usos de la tierra y de las formaciones vegetacionales existentes, principalmente las relacionadas al bosque nativo, las plantaciones forestales y los matorrales como líneas base para la información cartográfica vegetal en Chile. La información del *Catastro* es actualizada periódicamente cada 10 años aproximadamente, por el Departamento de Monitoreo de Ecosistemas Forestales de CONAF, a través de proyectos regionales que permiten monitorear los cambios y analizar los procesos que afectan a los distintos usos de la tierra, cartografiar y caracterizar el bosque y disponer de base de datos digitales y geo-referenciadas en un sistema de uso público.

Las categorías definidas por CONAF en el país para los diferentes usos de la tierra son homologadas a las categorías de uso de la tierra definidas por las *Directrices del IPCC de 2006*, resultando en las categorías que se incluyen en la Tabla 306.

Tabla 306. Sector UTCUTS: homologación cambios de uso de la tierra entre las categorías de IPCC y CONAF

| Categoría IPCC | Categoría Catastro - CONAF |
|-------------------------|---|
| Tierras Forestales (TF) | Bosque nativo, matorral arborescente, plantaciones forestales, bosque mixto |
| Tierras de cultivo (TC) | Terrenos agrícolas |
| Pastizales (PA) | Praderas y matorrales |
| Humedales (HU) | Humedales y cuerpos de agua |
| Asentamientos (AS) | Áreas urbanas e industriales |
| Otras tierras (OT) | Áreas desprovistas de vegetación, nieves y glaciares y áreas no reconocidas |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Las definiciones que se dan en el país utilizadas por CONAF se detallan a continuación:

- *Tierras forestales*: la definición de bosques utilizada en el país corresponde a la definición de la Ley Nº 20.283 sobre recuperación de Bosque Nativo y Fomento Forestal, que define Bosques como «sitio poblado con formaciones vegetales en las que predominan árboles y que ocupa una superficie de por lo menos 5.000 metros cuadrados, con un ancho mínimo de 40 metros con cobertura de copa arbórea que supere el 10 % de dicha superficie total en condiciones áridas y semiáridas y el 25 % en circunstancias más favorables». La Ley Nº 20.283 además define Bosque Nativo como «bosque formado por especies autóctonas, provenientes de generación natural, regeneración natural, o plantación bajo dosel con las mismas especies existentes en el área de distribución original, que pueden tener presencia accidental de especies exóticas distribuidas al azar». Esta categoría también incluye lo que se define como Matorral arborescente, que es un tipo de matorral que posee en su composición de especies (nativas y/o exóticas) un estrato de árboles que cubren entre 10-25% de copas en condiciones húmedas y 5-10% en condiciones áridas y semiáridas, que supera los 2 metros de altura. Las plantaciones forestales son bosques establecidos artificialmente por plantación o siembra. Los árboles usualmente pertenecen a la misma especie, pueden ser especies nativas o introducidas y tienen la misma edad y están espaciados regularmente en el terreno.
- *Tierras de cultivo*: se refiere a zonas actualmente destinadas a la producción agropecuaria. Incluye cereales, horticultura, fruticultura y ganadería.
- *Pastizales*: corresponde al área de praderas y matorrales, y se refiere a formaciones herbáceas, arbustivas, arbustivo-herbáceas, arbustivo-suculenta y suculentas. Se

subdividen de acuerdo con el tipo biológico preponderante (pastos, arbustos, suculentas) y sus especies dominantes. Este tipo de formaciones puede contener una componente de árboles, pero estos no superan los 2 metros de altura, ni el 25% de cobertura de copas en condiciones húmedas o el 10% en condiciones áridas o semiáridas.

- *Humedales*: corresponden a extensiones de marismas, pantanos y turberas o, en general, superficies cubiertas de agua, sean estas de caracteres naturales o artificiales, permanentes o temporales, estancados o corrientes, dulces, salobres o salados. Se incluyen las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de 6 metros. Además, se incluyen en esta categoría las vegas y bofedales debido a su hidromorfismo. También se incluyen los cuerpos de agua que son las zonas cubiertas por el mar, ríos, lagos, lagunas y embalses.
- *Asentamientos*: se refiere a sectores ocupados por ciudades o instalaciones industriales.
- *Otras tierras*: esta categoría en el Sistema de clasificación del Catastro se define como “Áreas desprovistas de vegetación”, que corresponden a sectores donde, en condiciones húmedas, la cobertura de árboles, arbustos, hierbas y suculentas en su conjunto es inferior al 25%, 10%, 10% y 5% respectivamente, mientras que en condiciones áridas o semiáridas es inferior al 5% de cobertura. Esta categoría también incluye el uso “Nieves eternas y glaciares” que corresponde a zonas cubiertas por nieve, nieves eternas, glaciares y campos de hielo; y finalmente el uso “Áreas no reconocidas” que son sectores para los cuales no ha sido posible efectuar un reconocimiento vegetacional debido a que constituyen las zonas de acceso restringido o por falta de fotografías aéreas o imágenes.

La metodología empleada para realizar la clasificación del uso de la tierra y de las distintas formaciones vegetacionales, se denomina Carta de Ocupación de Tierras (COT), metodología desarrollada por el Centro de Estudios Fitosociológicos y ecológicos Louis Emberger (CEPE de Montpellier) y adaptada por Etienne y Prado en 1982. Esta metodología describe la vegetación a través de formación vegetal o forma de vida, estructura, cobertura, altura y especies dominantes. El uso de la tierra corresponde a la ocupación actual y determinado por eventos antrópicos o naturales al momento de la detección con sensores remotos, interpretación visual y/o terreno: bosques (naturales y artificiales), praderas y matorrales, cuerpos de agua, humedales, nieves, áreas urbanas, terrenos agrícolas, terrenos desprovistos de vegetación.

Los datos provenientes del catastro permiten separar la información en: uso de suelo, sub-uso de suelo, estructura vegetal, tipo forestal, etc. Para el Inventario de UTCUTS es importante generar la información desagregada por tipo de vegetación para bosque nativo, la cual está definida por la combinación entre tipo forestal y estado de desarrollo (Tabla 307, Anexo 09.01) y matorral arborescente. La Figura 138 y Figura 139 muestran la distribución de los tipos forestales en el país.

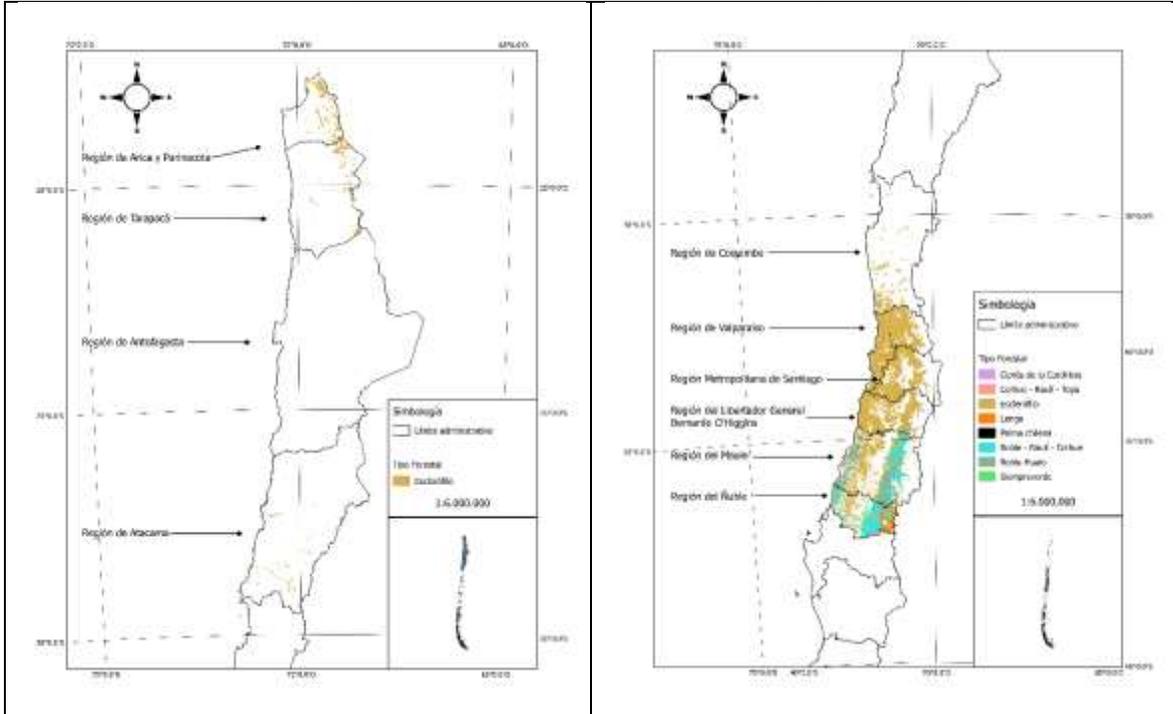
Tabla 307. Sector UTCUTS: Tipos forestales y estados de desarrollo de bosque nativo.

| Tipo Forestal | Estado de desarrollo |
|-------------------------|----------------------|
| Alerce | Renoval |
| Ciprés de la Guaitecas | Adulto/renoval |
| Araucaria | Adulto |
| Ciprés de la Cordillera | Achaparrado |
| Palma chilena | |
| Lenga | |
| Roble-Hualo | |
| Roble-Raulí-Coihue | |
| Coihue-Raulí-Tepa | |

| Tipo Forestal | Estado de desarrollo |
|---------------|----------------------|
| Esclerófilo | |
| Siempreverde | |

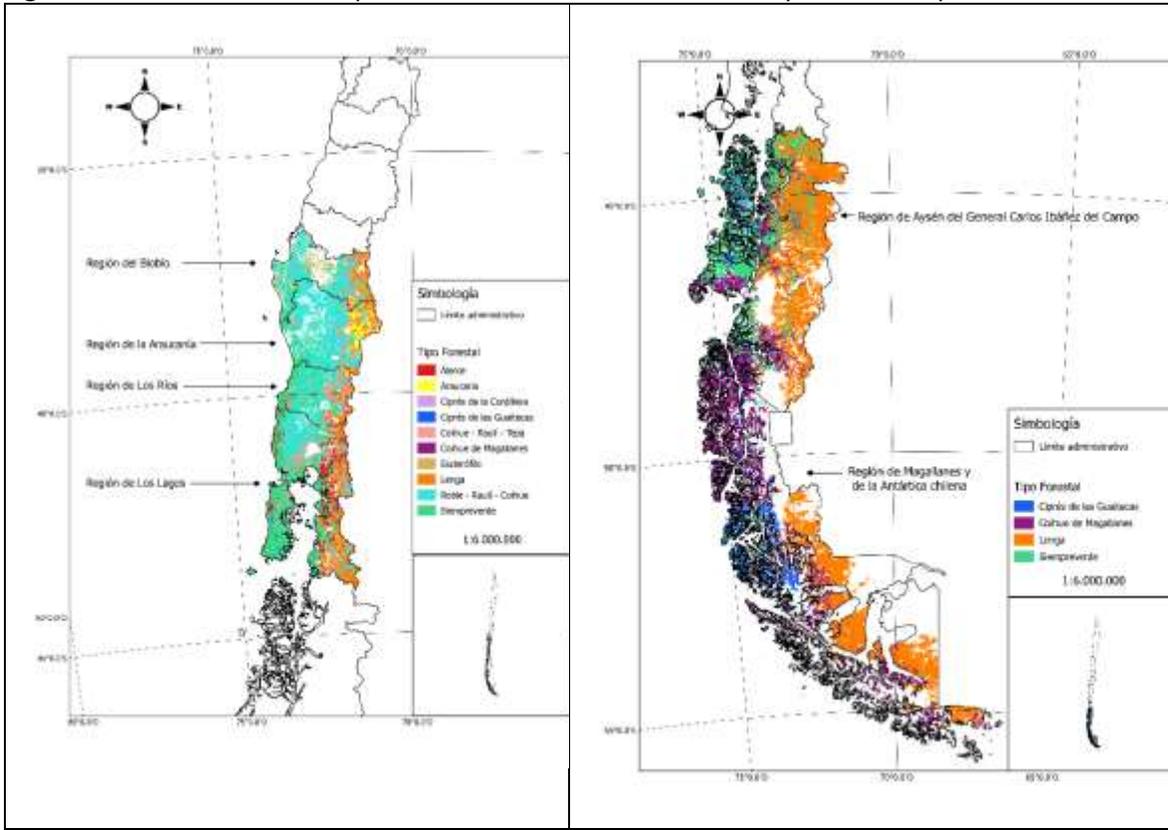
Fuente: Equipo Técnico de CONAF

Figura 138. Sector UTCUTS: Tipos forestales en la distribución Norte y Centro del país.



Fuente: Equipo Técnico de CONAF

Figura 139. Sector UTCUTS: Tipos forestales en la distribución Sur y Austral del país.



Fuente: Equipo Técnico de CONAF

Además, se detectan los cambios de cobertura vegetal entre plantaciones y bosque nativo, para dar cuenta de la sustitución que es el cambio de bosque nativo a plantaciones y restitución que es el cambio de bosque nativo a plantaciones.

El nivel de resolución en general para las actualizaciones del *Catastro* es de 4 hectáreas para toda las regiones, salvo para la descripción del uso Bosque que es de acuerdo a la definición legal (Ley N° 20.283, Art.2°), es decir la resolución llega hasta una superficie de por lo menos 0,5 hectáreas, con la excepción de las regiones de Antofagasta y Magallanes que aún poseen resoluciones de 156,25 ha (estas regiones están en proceso de mejoras que estarán disponibles para el próximo proceso de INGEI). En áreas espaciales o de interés particular como; zonas buffer de 2 km en torno a unidades de SNASPE, alrededor de ciudades de la región y en sitios o ecosistemas singulares de interés regional, la unidad mínima cartografiada es de una (1) hectárea. La proyección cartográfica utilizada para la generación de las coberturas corresponde a Datum WGS 84, huso 18 o 19 UTM Sur según corresponda. En el caso del territorio Antártico chileno, este abarca desde el huso 16 al 21 UTM Sur.

6.3. Métodos utilizados para la representación de las tierras

Para la detección de cambios de usos de la tierra, se aplica Método 3 que es espacialmente explícito, el país ha avanzado para cumplir con requerimientos de periodicidad más frecuentes, y

actualmente, CONAF utiliza el método Multi-índice o MIICA (Jin *et al.*, 2013) que emplea técnicas semi-automatizadas para la detección de cambios mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 8. El proyecto de Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales (GEF-FAO), fue la vía para dar inicio con la investigación de técnicas semi-automatizadas para la detección de cambios mediante el uso de imágenes satelitales, representando una mejora sustancial en frecuencia temporal y resolución espacial.

Con la adaptación y desarrollo del método en el país es posible actualizar los cambios de uso de la tierra cada dos años. Hasta la fecha, el método se ha ejecutado entre las regiones de Coquimbo a Los Lagos, y se trabaja para incorporar el resto del país. En el resto de las regiones se trabaja con la información del Catastro que también es espacialmente explícita, pero que tiene períodos más extensos para su actualización.

La aplicación del método consideró en su desarrollo una serie de reglas de decisión (detallada en la etapa 2 del procedimiento) en base a índices espectrales aplicados a mosaicos regionales (imagen satelital creada a partir de un set de imágenes Landsat 8 con fechas acotadas), donde se obtienen potenciales polígonos de cambios del respectivo período, que se clasifican en pérdidas y ganancias, (Albornoz *et al.* 2017). El método se desarrolla en seis etapas que se detallan a continuación:

- **Etapa 1: Generación de Mosaicos T0 y T1**

Esta primera etapa tiene por objetivo generar los mosaicos para los periodos en evaluación de detección de cambios de uso de la tierra. Estos son elaborados a partir de una serie de imágenes Landsat 8 para un periodo inicial (T0) y un periodo final (T1), en los cuales se seleccionan los mejores píxeles con información dentro del periodo de tiempo seleccionado (sin nubes o sombras de nubes), lo cual asegura una imagen adecuada con la menor cantidad de píxeles sin información, para la aplicación de la metodología de cambios.

La definición de los periodos abarca entre 3 a 4 meses, lo que equivale alrededor de 6 imágenes del satélite de diferentes fechas para una región. El periodo de tiempo es la época estival para asegurar la menor cantidad de nubes posibles y evitar posibles cambios atribuidos a efectos fenológicos de la vegetación (bosques caducifolios).

Estas imágenes deben tener coincidencia geométrica (corregistro), el mismo sistema de proyección cartográfico (WGS-84, 18S o EPSG: 32718) y resolución espacial de 30*30 metros para que las escenas utilizadas puedan ser comparables. Esto se desarrolla en la plataforma Google Earth Engine (GEE) mediante la elaboración de un código de programación en lenguaje Java Script.

- **Etapa 2: Coberturas de pérdidas y ganancias**

El propósito de esta etapa es la obtención de coberturas raster de pérdidas y ganancias mediante la aplicación de la metodología MIICA en los mosaicos base T0 y T1 obtenidos en la etapa anterior. Dicha metodología se basa en la combinación de los índices dNBR (Normalized difference burn ratio), dNDVI (Normalized difference vegetation index), CV (Change Vector), RCVmax (Relatived Change Vector).

De los 4 índices utilizados, dNBR y dNDVI son los más eficientes para la detección de cambios en vegetación nativa, mientras que CV y RCVmax los son para los usos no vegetales o de vegetación poco densa, con alta influencia del suelo desnudo. Los cambios obtenidos mediante los índices CV y RCVmax se consideran como un posible cambio, el cual se acepta o rechaza en la etapa 4 del

procedimiento (clasificación supervisada) mediante la correspondencia del uso entre los 2 periodos de análisis. Mientras, que lo obtenido mediante la aplicación de los índices dNBR y dNDVI, siguen una serie de reglas las cuales permiten detectar de mejor manera el cambio en la vegetación, en función de la realidad vegetal chilena (Anexo 09.02).

- **Etapa 3: Edición y superación de resultados**

El objetivo principal de esta etapa es la obtención de la cobertura vectorial depurada de los cambios registrados, la que debe pasar por una serie de procesos de filtrado y suavizados, eliminando píxeles aislados y donde la superficie mínima de cambio es mayor o igual a 0,27 hectáreas.

- **Etapa 4: Atribución mediante clasificación supervisada**

La finalidad de esta etapa es la designación del uso de la tierra a las coberturas vectoriales de pérdidas y ganancias generadas en la etapa anterior, mediante la aplicación de una clasificación supervisada usando la metodología de *Random Forest* en el mosaico base T1, generando una cobertura de cambios de usos con atributos en T1 para los polígonos MIICA.

Paralelamente, se comparan los usos de la tierra entre la clasificación supervisada y el último mapa disponible para determinar los posibles cambios que no fueron detectados por el método MIICA.

Finalmente, se combinan la cobertura de cambios obtenida por el método MIICA con la cobertura de cambios atributada señalada en el párrafo anterior, obteniendo una cobertura final de cambios del periodo, la cual es revisada mediante fotointerpretación.

- **Etapa 5: Integración de la cobertura de usos y cambios de uso**

En esta etapa se integran la cobertura de cambios generada en la etapa anterior, con el último mapa disponible de manera geométrica y alfanumérica.

De esta manera, se obtiene el seguimiento histórico del uso de la tierra de cada polígono en la capa (Trazabilidad).

- **Etapa 6: Validación mediante Collect Earth**

En esta etapa corresponde la validación de la cobertura de usos de la tierra y sus cambios mediante el uso de Collect Earth, programa desarrollado por FAO y de uso liberado que permite realizar muestreos por puntos para análisis de uso de la tierra, en donde se determina la cercanía a la realidad en el uso de la tierra asignado.

A continuación, en las siguientes figuras se muestran ejemplos de cambios en bosque nativo realizados con el método MIICA.

Figura 140. Sector UTCUTS: Cambio de bosque nativo a asentamientos, período 2016 – 2018 en la región del Biobío



Fuente: Equipo Técnico de CONAF

Figura 141. Sector UTCUTS: Cambio de bosque nativo a tierras de cultivo, período 2016 – 2018 en la región de Los Lagos



Fuente: Equipo Técnico de CONAF

Para las regiones donde aún no se aplica el método MIICA se utilizan las actualizaciones del *Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile*. Para la consistencia de las superficies de cambio entre las regiones se realizaron promedios históricos para 5 periodos: 1997-2001, 2001-2007, 2007-2013, 2013-2016, 2016-2018, con la excepción de las regiones de Coquimbo y Aysén (solo 2 periodos), y las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O’Higgins (solo 4 periodos). Para alcanzar la consistencia se realiza una interpolación del área de cambio de uso dada la siguiente expresión:

$$A_i = \frac{A_{p1} - A_{p1} \left(\frac{b_{p1}}{t_{p1}} \right) + A_{p2} - A_{p2} \left(\frac{b_{p2}}{t_{p2}} \right)}{t_{p1} + t_{p2} - b_{p1} - b_{p2}}$$

Dónde:

A_i = Superficie anual de cambio (ha)

A_p = Superficie de cambio en el periodo p (ha)

b = Tiempo de interpolación (años; ej. Si la interpolación es entre 2013 y 2015, $b = 2$)

t = Tiempo del periodo p (años)

Para extender los datos hasta el año inicial, 1990, se extrapolan la tasa de cambio 1997-2001, mientras que para el año final 2018 (según corresponda) se extrapolan la tasa de cambio 2007-2013 (solo para la región de Aysén) y 2013-2016 (solo para las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins). En el caso de las regiones del Maule, Ñuble, Biobío, Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, no se extrapolan al año final dado que el estudio de cambio es hasta 2018. La Tabla 308 presenta el detalle de las regiones, con el método aplicado y los años de actualización.

Tabla 308. Actualizaciones hasta 2018 por regiones

| Región | Método | Primer periodo de actualización | Última actualización | Actualizaciones históricas (trazabilidad) |
|--------------------------------|----------|---------------------------------|----------------------|--|
| Arica y Parinacota | Catastro | 2015 | | |
| Tarapacá | Catastro | 2016 | | |
| Antofagasta | Catastro | 1997 | | |
| Atacama | Catastro | 2017 | | |
| Coquimbo | SIMEF | 2014-2016 | | |
| Valparaíso | SIMEF | 2013-2016 | | 1997-2001, 2001-2013 |
| R. Metropolitana | SIMEF | 2013-2016 | | 1997-2001, 2001-2013 |
| L.B. O'Higgins | SIMEF | 2013-2016 | | 1997-2001, 2001-2005, 2005-2013 |
| Maule | SIMEF | 2013-2016 | 2016-2018 | 1997-1999, 1999-2009, 2009-2015 |
| Ñuble | SIMEF | 2014-2016 | 2016-2018 | 1997-1998, 1998-2008, 2008-2014 |
| Biobío | SIMEF | 2014-2016 | 2016-2018 | 1997-1998, 1998-2008, 2008-2014 |
| Araucanía | SIMEF | 2013-2016 | 2016-2018 | 1997-2007, 2007-2013 |
| Los Ríos | SIMEF | 2013-2016 | 2016-2018 | 1997-2006, 2006-2013 |
| Los Lagos | SIMEF | 2013-2016 | 2016-2018 | 1997-2006 (sector norte de la región), 2006-2013 |
| Aysén G.C.I.C | Catastro | 1997-2011 | | |
| Magallanes y Antártica chilena | Catastro | 2005 | | |

Fuente: Equipo Técnico de CONAF para actualización del INGEI

Ya está en proceso de actualización el periodo 2018-2020 para las regiones con método SIMEF, y se espera incluir a las regiones que solamente poseen cartografía del Catastro. El año de inicio para todas las regiones es 1997. En el caso del año 2001, es necesaria la interpolación desde Coquimbo hasta Aysén. En 2007 todas las regiones necesitan interpolación.

6.3.1. Matriz de cambio de usos de la tierra

Con los cambios integrados en las coberturas regionales en formato shapefile crean las matrices de cambios para cada periodo. Esta matriz muestra las transferencias de superficie entre los usos de la tierra según categoría de las *Directrices del IPPC 2006* y con el detalle de tipos de bosque nativo, donde las columnas representan el año actual y las filas el año anterior (Tabla 309). Además, la diagonal representa la superficie que no cambia (usos permanentes) y los números en las columnas representan las ganancias para un uso en particular y las filas representan las pérdidas. Las matrices de cambio de toda la serie temporal se reportan en el Sistema de Registro Tabular.

Al analizar las matrices de cambio entre distintos usos emergieron algunos cambios nada o poco probables, atribuidos a procedimientos cartográficos limitados en su precisión comparado con la tecnología aplicada en la actualidad que permite una mejor detección de los cambios y uso de la tierra, la cual en definitiva resalta estas diferencias, o bien inconsistencias en la atribución de la representación de las tierras; por ello, el Equipo Técnico de UTCUTS acordó que:

- los cambios de uso desde Otras tierras a Tierras forestales se llevan a cero;
- los cambios desde Asentamientos a otros usos de la tierra se llevan a cero, exceptuando Otras tierras;
- en el caso de los periodos 2013-2016 y 2016-2018, se dio una segunda revisión a los cambios de magnitudes grandes entregado por la metodología de cambios;
- el caso de Tierras forestales a Otras Tierras se re-evaluó si corresponden a eventos volcánicos o de deslizamientos, ya que un deslizamiento se siguió considerando como Tierra Forestal;
- todo el bosque nativo permanente se atribuyó de igual manera en caso de existir diferencias de estructura y tipo forestal en el tiempo; una plantación forestal pasa por una transición de matorral a arborescente antes de transformarse en bosque nativo.

Tabla 309. Matriz de cambio de uso de la tierra período 2017-2018 para el territorio continental

| Uso de la Tierra 2017 | Uso de la tierra 2018 | | | | | | | | | | | | Total 2017 |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | AS | TC | PA | TF-BN_MA | TF-BN_AD | TF-BN_R | TF-BN_AR | TF-BN_AC | TF-BN_M | TF-PF | HU | OU | |
| AS | 498.423,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 498.424,3 |
| TC | 1.692,7 | 3.129.390,9 | 14.978,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 6.790,5 | 0,0 | 15,1 | 3.152.867,4 |
| PA | 779,1 | 4.390,9 | 21.151.045,1 | 2.779,2 | 0,0 | 22,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 4.943,0 | 90,4 | 49,2 | 21.164.099,1 |
| TF-BN_MA | 193,2 | 1.491,7 | 5.674,5 | 1.758.810,14 | 8,3 | 9.741,8 | 0,1 | 109,8 | 0,0 | 1.633,6 | 8,8 | 10,4 | 1.777.682,2 |
| TF-BN_AD | 17,3 | 51,4 | 778,9 | 122,5 | 6.111.542,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 8,5 | 0,0 | 64,7 | 6.112.585,6 |
| TF-BN_R | 258,6 | 415,5 | 3.129,0 | 1.236,4 | 0,0 | 4.469.155,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1.982,5 | 6,0 | 43,3 | 4.476.226,3 |
| TF-BN_AR | 3,7 | 7,9 | 460,5 | 33,9 | 0,0 | 0,0 | 1.077.956,3 | 0,0 | 0,0 | 42,4 | 0,0 | 23,2 | 1.078.528,0 |
| TF-BN_AC | 6,2 | 0,0 | 799,5 | 394,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2.759.641,3 | 0,0 | 130,8 | 3,1 | 45,0 | 2.761.020,2 |
| TF-BN_M | 44,6 | 1.520,8 | 376,8 | 301,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 167.055,8 | 592,1 | 0,4 | 3,2 | 169.895,0 |
| TF-PF | 276,0 | 1.133,6 | 4.933,1 | 44,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 3.046.360,1 | 33,2 | 5,6 | 3.052.785,7 |
| HU | 540,2 | 271,1 | 558,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 113,1 | 4.788.875,5 | 13,3 | 4.790.371,6 |
| OU | 84,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 26.545.297,2 | 26.545.381,4 |
| Total 2018 | 502.319,2 | 3.138.673,8 | 21.182.734,0 | 1.763.721,91 | 6.111.550,7 | 4.478.919,0 | 1.077.956,4 | 2.759.751,1 | 167.055,8 | 3.062.596,5 | 4.789.017,3 | 26.545.571,0 | 75.579.866,8 |

AS es Asentamientos; TC es Tierras de cultivo; PA es Pastizales; TF-BN_MA es Tierras Forestales-Bosque nativo matorral arborescente; TF-BN_AD es Tierras Forestales Bosque nativo adulto; TF-BN_R es Tierras Forestales Bosque nativo renoval; TF-BN_AR es Tierra Forestal Bosque nativo adulto/renoval; TF-BN_AC es Tierra Forestal Bosque nativo achaparrado; TF-BN_M es Tierra Forestal Bosque mixto; TF-PF es Tierra Forestal Plantación Forestal; HU es Humedales; OU es Otras Tierras.

Fuente: Equipo Técnico de CONAF para actualización del INGEI.

6.4. Tierras forestales (4.A.)

6.4.1. Descripción de la categoría

Las tierras forestales alcanzan en el 2018 una superficie de 19.421.551 ha en el país, de las cuales 83,4 % corresponden a tierras de bosque nativo, 15,8 % plantaciones forestales y 0,9 % a bosques mixtos (Tabla 310). En cuanto a la información de superficie de plantaciones forestales, en el país se diferencia la superficie que corresponde al uso de la tierra de plantaciones forestales que incluye canchas de acopio, caminos entre otros, esta superficie corresponde a 3.062.596 ha en el 2018 (CONAF para la actualización del INGEI), mientras que la superficie de plantaciones que está creciendo en el país, alcanza 2.277.440 ha en el 2018 (INFOR, 2019).

Las tierras forestales que al 2018 se consideran bajo gestión y por ende se contabilizan en el INGEI corresponden al 58,2 % del total de tierras forestales, lo que incluye a la superficie total de plantaciones forestales, la superficie de bosque nativo con plan de manejo, la superficie de bosque nativo que está en áreas de conservación, la superficie de bosque nativo de renovales, el bosque nativo que se origina debido al cambio de uso de la tierra y el bosque nativo que se origina por el cambio de cobertura vegetal desde plantaciones forestales, quedando fuera de la contabilidad el 41,8 % de la superficie de tierras forestales que corresponde exclusivamente a tierras cubiertas con bosque nativo, por no considerarse bajo gestión. En la Tabla 311, se ve la evolución de las tierras forestales, donde las tierras gestionadas ha aumentado desde 1990.

Tabla 310. 4.A. Tierras forestales: Superficie de Tierras forestales diferenciada por tipo de vegetación

| Usos por tipo de vegetación | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Bosque nativo | 16.360.384 | 16.266.445 | 16.259.583 | 16.254.776 | 16.220.186 | 16.206.042 | 16.191.899 |
| Bosque Mixto | 141.754 | 163.080 | 172.336 | 172.751 | 172.734 | 169.895 | 167.056 |
| Plantaciones* | 1.734.816 | 2.365.992 | 2.886.592 | 3.022.226 | 3.042.975 | 3.052.786 | 3.062.596 |
| Total | 18.236.954 | 18.795.517 | 19.318.511 | 19.449.754 | 19.435.895 | 19.428.723 | 19.421.551 |

La superficie de plantaciones forestales del cuadro corresponde al uso de la tierra de plantaciones forestales que incluye canchas de acopio y caminos entre otros, de acuerdo a CONAF, mientras que la superficie de plantaciones que se reporta con cobertura forestal alcanza las 2.277.440 ha en el 2018 y es entregada por INFOR

Fuente: Elaboración del Equipo Técnico de UTCUTS en base a CONAF (2019)

Tabla 311. 4.A. Tierras forestales: Superficie de Tierras gestionadas y no gestionadas.

| Año | Tierras forestales gestionadas | Tierras forestales no gestionadas | Total |
|------|--------------------------------|-----------------------------------|------------|
| 1990 | 8.202.849 | 9.978.249 | 18.181.097 |
| 1991 | 8.371.386 | 9.865.568 | 18.236.954 |
| 1992 | 8.551.296 | 9.741.514 | 18.292.810 |
| 1993 | 8.713.405 | 9.635.261 | 18.348.666 |
| 1994 | 8.881.115 | 9.523.408 | 18.404.523 |
| 1995 | 9.053.866 | 9.406.513 | 18.460.379 |
| 1996 | 9.218.452 | 9.297.783 | 18.516.235 |
| 1997 | 9.374.396 | 9.197.695 | 18.572.092 |
| 1998 | 9.536.423 | 9.091.525 | 18.627.948 |
| 1999 | 9.689.686 | 8.994.119 | 18.683.804 |
| 2000 | 9.833.617 | 8.906.043 | 18.739.661 |
| 2001 | 9.976.287 | 8.819.230 | 18.795.517 |
| 2002 | 10.109.510 | 8.741.864 | 18.851.373 |
| 2003 | 10.217.197 | 8.690.159 | 18.907.356 |
| 2004 | 10.319.886 | 8.643.452 | 18.963.338 |
| 2005 | 10.418.231 | 8.601.090 | 19.019.320 |
| 2006 | 10.514.854 | 8.560.449 | 19.075.303 |
| 2007 | 10.608.123 | 8.523.162 | 19.131.285 |
| 2008 | 10.695.327 | 8.491.941 | 19.187.268 |
| 2009 | 10.770.717 | 8.460.298 | 19.231.015 |
| 2010 | 10.820.947 | 8.453.816 | 19.274.763 |
| 2011 | 10.876.230 | 8.442.281 | 19.318.511 |
| 2012 | 10.932.368 | 8.429.890 | 19.362.258 |
| 2013 | 10.994.436 | 8.411.570 | 19.406.006 |
| 2014 | 11.035.411 | 8.414.343 | 19.449.754 |
| 2015 | 11.042.824 | 8.402.310 | 19.445.134 |
| 2016 | 11.055.482 | 8.385.032 | 19.440.514 |
| 2017 | 11.071.915 | 8.363.979 | 19.435.895 |
| 2018 | 11.086.052 | 8.342.671 | 19.428.723 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Esta categoría incluye las emisiones y absorciones de CO₂ y no-CO₂, generadas como resultado de cambios en la biomasa, materia orgánica muerta y carbono del suelo en *Tierras forestales que permanecen como tales* y en *Tierras convertidas en tierras forestales*. En *Tierras forestales que permanecen como tales* se consideran a todos los bosques y plantaciones que han permanecido en la categoría de *Tierras forestales* por más de 20 años. Además, se hace una diferenciación de la superficie de tierras forestales que cambian de cobertura vegetal entre bosque nativo y plantaciones, para identificar la superficie de plantaciones que se ha generado por sustitución de bosque nativo y la superficie de bosque nativo que se ha generado por reemplazo de bosque nativo (restitución). En *Tierras convertidas en tierras forestales* se consideran todos los bosques que tienen un período menor a 20 años desde la conversión del uso de la tierra, plantaciones y bosque nativo. La Tabla 312 resume los componentes y gases considerados en la categoría de Tierras Forestales.

Tabla 312. 4.A. Tierras forestales: subcategorías, componentes, subcomponentes y gases.

| Subcategoría | Componente | Subcomponente | Gases |
|--|------------------------------|---|--------------------------------------|
| Tierras Forestales que permanecen como tales | Plantaciones | Plantaciones que permanecen por más de 20 años en tierras forestales | CO ₂ |
| | | Plantaciones originadas por el cambio de cobertura desde bosque nativo: Sustitución | CO ₂ |
| | Bosque Nativo | Bosque nativo de segundo crecimiento: renovals | CO ₂ |
| | | Bosque nativo en Sistema Nacional de Áreas Silvestres | CO ₂ |
| | | Bosque nativo manejado de acuerdo a Ley sobre recuperación de bosque nativo y manejo forestal | CO ₂ |
| | | Bosque nativo originado por el cambio de cobertura desde plantaciones: Restitución | CO ₂ |
| | Plantaciones y bosque nativo | Cosecha de trozas | CO ₂ |
| | | Leña | CO ₂ |
| | | Incendios | CO ₂ y no-CO ₂ |
| | | Quemas forestales | No-CO ₂ |
| Tierras convertidas en tierras forestales | Plantaciones | Plantaciones con menos de 20 años desde la conversión de uso de la tierra | CO ₂ |
| | Bosque Nativo | Bosque Nativo con menos de 20 años desde la conversión de uso de la tierra | CO ₂ |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.4.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones netas de las tierras forestales fueron -61.344,3 kt CO₂ eq. Durante toda la serie temporal el balance de esta categoría es favorable a la absorción, aumentando en 0,2 % desde 1990 y disminuyendo en un 14,0 % desde 2016 (Tabla 313, Figura 142). La tendencia se explica porque ha disminuido la conversión de tierras a *Tierras forestales* durante la serie temporal, y en particular en el 2018 hay un aumento de la cosecha de trozas que provocan un aumento en las emisiones en *Tierras forestales*.

En el 2018, las *Tierras forestales que permanecen como tales* tienen una emisión neta de -40.032,2 kt CO₂ eq aumentando su condición de sumidero en un 11,6 % respecto a 1990 y disminuyendo en 14,4 % respecto al 2016. Mientras que las *Tierras convertidas en tierras forestales* presentan un balance neto de -21.312,12 kt CO₂ eq, disminuyendo su condición de sumidero en 16,0 % respecto a 1990 y en 13,4 % respecto al 2016 (Tabla 313, Figura 142).

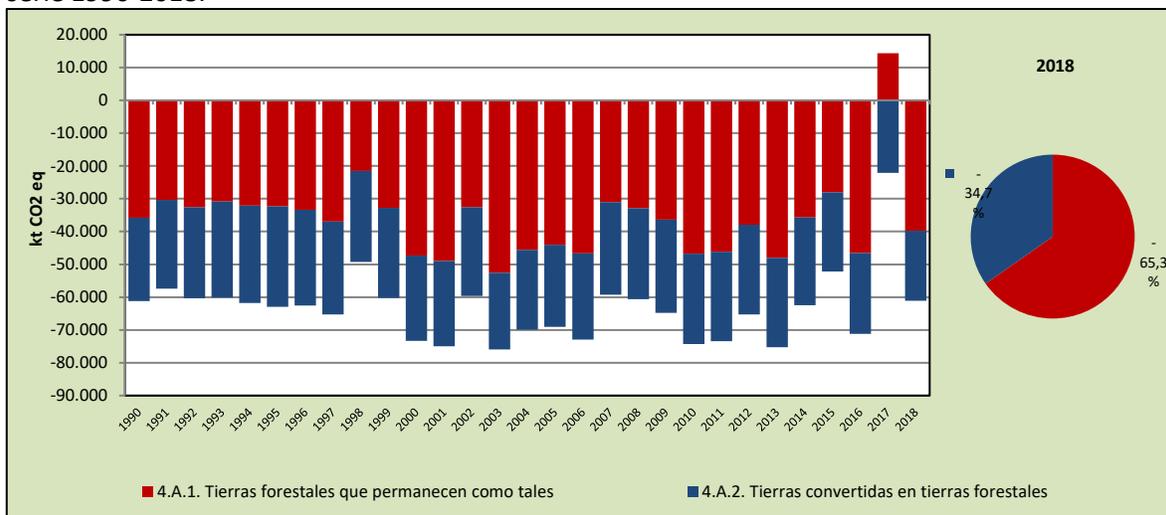
Tabla 313. 4.A. Tierras forestales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018.

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 4.A.1. Tierras forestales que permanecen como tales | -35.866,9 | -47.366,7 | -47.086,2 | -48.038,3 | -46.770,2 | 12.498,8 | -40.032,2 |
| 4.A.2. Tierras convertidas en tierras forestales | -25.384,6 | -26.055,0 | -27.575,7 | -27.244,2 | -24.597,6 | -22.149,7 | -21.312,1 |

| | | | | | | | |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
| Balance | -61.251,5 | -73.421,7 | -74.661,9 | -75.282,5 | -71.367,8 | -9.650,9 | -61.344,3 |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 142. 4.A. Tierras forestales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

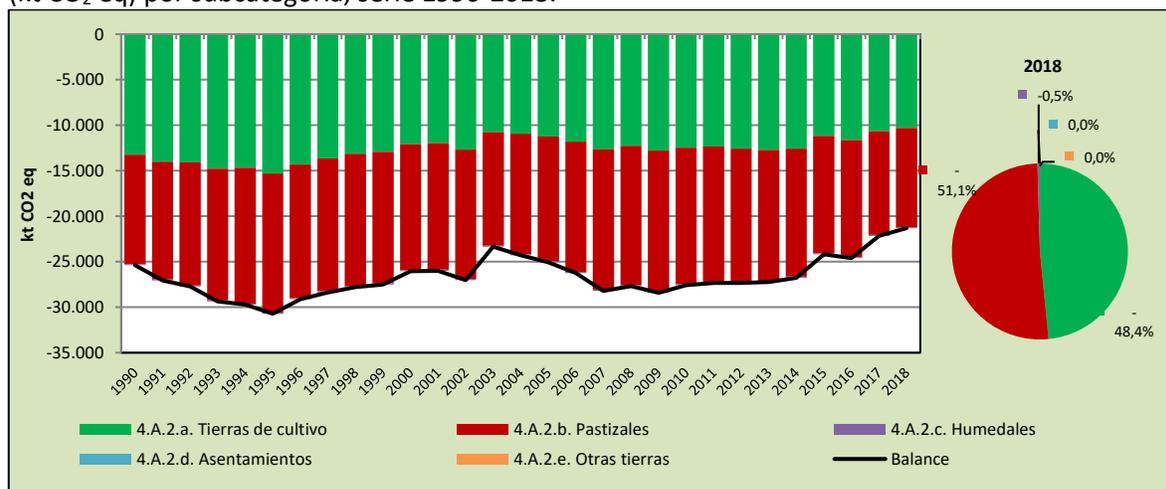
En las *Tierras convertidas en tierras forestales*, los *Pastizales* y las *Tierras de cultivo* son las más importantes (Tabla 314, Figura 143). En términos absolutos, las tierras de pastizales alcanzan en el 2018 un 51,1% de participación en el balance, mientras que las tierras de cultivo un 48,4 % y los humedales un 0,5 %. Durante la serie temporal, se puede ver que ha disminuido las *tierras convertidas en tierras forestales* y esto provoca que disminuyan las absorciones, porque no hay incorporación de nuevos bosques y además *las tierras convertidas en tierras forestales* después de 20 años de transición pasan a formar parte de las *tierras forestales que permanecen como tales*.

Tabla 314. 4.A.2. Tierras convertidas en tierras forestales (kt CO₂ eq), serie 1990-2018.

| Subcomponente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 4.A.2.a. Tierras de cultivo | -13.229,3 | -12.073,2 | -12.476,3 | -12.728,2 | -11.632,1 | -10.654,7 | -10.321,1 |
| 4.A.2.b. Pastizales | -12.052,0 | -13.857,5 | -14.969,1 | -14.394,5 | -12.858,3 | -11.398,5 | -10.895,0 |
| 4.A.2.c. Humedales | -103,3 | -124,3 | -130,3 | -121,4 | -107,2 | -96,6 | -95,9 |
| 4.A.2.d. Asentamientos | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4.A.2.e. Otras tierras | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Balance | -25.384,6 | -26.055,0 | -27.575,7 | -27.244,2 | -24.597,6 | -22.149,7 | -21.312,1 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 143. 4.A.2 Tierras convertidas en tierras forestales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018.



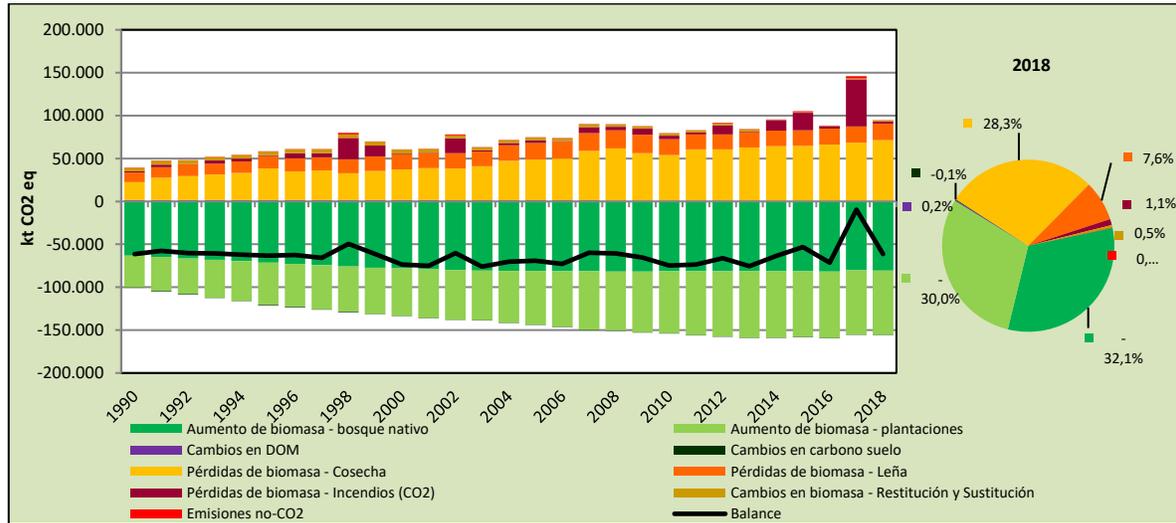
Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Desde el punto de vista de los depósitos de carbono (Tabla 315 y Figura 144), la biomasa es el depósito más importante donde los aumentos de biomasa en el 2018 alcanzan un 62,1 % de participación, mientras que las pérdidas de biomasa llegan a un 37,0 % de participación, permitiendo la condición de sumidero de las *Tierras forestales*, el depósito de carbono de la materia orgánica muerta participa con emisiones que alcanzan un 0,2%, seguidos por los cambios en el carbono del suelo que participan con un 0,1 % y las emisiones no-CO₂ con un 0,1 %.

Tabla 315. 4.A. Tierras forestales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por depósito de carbono y componente, serie 1990-2018.

| Subcomponente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
| Aumento de biomasa - bosque nativo | -63.398,7 | -78.202,0 | -81.567,1 | -81.558,2 | -81.627,8 | -80.440,9 | -80.603,1 |
| Aumento de biomasa - plantaciones | -36.768,6 | -55.106,8 | -72.109,3 | -77.323,8 | -77.650,0 | -74.789,5 | -75.120,6 |
| Cambios en DOM | 1.531,7 | 1.531,4 | 816,6 | 816,6 | 191,6 | 501,3 | 501,2 |
| Cambios en carbono suelo | -587,9 | -401,5 | -336,9 | -378,3 | -354,9 | -333,3 | -320,8 |
| Pérdidas de biomasa - Cosecha | 21.054,7 | 35.882,6 | 53.085,6 | 61.995,8 | 65.900,3 | 67.962,7 | 71.043,3 |
| Pérdidas de biomasa - Leña | 11.094,8 | 17.742,0 | 18.508,4 | 17.767,5 | 18.592,4 | 18.850,9 | 18.999,7 |
| Pérdidas de biomasa - Incendios (CO ₂) | 1.386,6 | 833,6 | 4.226,2 | 892,4 | 2.883,6 | 54.891,8 | 2.826,3 |
| Pérdidas de biomasa - Cambios cobertura vegetal | 4.211,1 | 4.209,4 | 2.448,9 | 2.446,1 | 492,6 | 1.141,8 | 1.141,8 |
| Emisiones no-CO ₂ | 224,9 | 89,6 | 265,7 | 59,6 | 204,5 | 2.564,4 | 187,9 |
| Balance | -61.251,5 | -73.421,7 | -74.661,9 | -75.282,5 | -71.367,8 | -9.650,9 | -61.344,3 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 144. 4.A. Tierras forestales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por depósito de carbono, serie 1990-2018.

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Para el caso de los aumentos de la biomasa, en el 2018 el bosque nativo contribuye con 32,1% y seguido de las plantaciones con 30,0%. El aumento de biomasa de bosque nativo corresponde a los bosques de renovales, los bosques nativos que se encuentran en áreas de conservación, los bosques nativos que se encuentran bajo planes de manejo, los bosques nativos que se forman por el cambio de cobertura vegetal desde plantaciones (restitución) y los bosques nativos que se forman por la conversión de tierras a tierras forestales.

El aumento de biomasa de bosque nativo ha aumentado en un 27,1% desde 1990 y disminuido en 1,3% desde 2016. Existe una tasa creciente de incorporación de superficie de bosque nativo bajo planes de manejo durante la serie temporal, lo que significa que pasan desde una condición de no gestionados a gestionados y por lo tanto ingresan a la contabilidad del INGEI, la disminución desde 2016 se debe principalmente a las menores tasas de conversión de tierras a bosque nativo y de plantaciones a bosque nativo.

Por otra parte, el aumento de biomasa de plantaciones forestales ha aumentado 104,3% desde 1990 y disminuido en 3,3% desde 2016, estas cifras dan cuenta de la evolución que han tenido las plantaciones desde la década de los 70, donde se inicia la forestación y por eso se manifiesta una tasa creciente en la serie temporal, sin embargo, en los últimos años de la serie ha disminuido la tasa de forestación y la superficie de plantaciones forestales tiende a mantenerse alrededor de las 2,3 a 2,4 millones de hectáreas.

En el caso de las pérdidas de biomasa, en 2018, las cosechas comerciales de trozas tienen la mayor participación en el balance con un 28,3%, le sigue la leña con un 7,6%, las pérdidas de carbono por incendios alcanzan un 1,1% y las pérdidas de biomasa por cambio de cobertura vegetal llegan al 0,5%. Las pérdidas de biomasa por cosecha han aumentado en 237,4% desde 1990 y en 7,8% desde 2016. En las cosechas participan principalmente las especies provenientes de plantaciones, si bien entre 1990 y 1999 las especies nativas tuvieron una participación que fluctuó entre el 11% y 23% de las emisiones por cosecha, esto ha disminuido hasta llegar a sólo un 1% en los últimos años.

de la serie temporal, con un 99 % de participación de especies exóticas. Esta tendencia tiene una directa relación con la incorporación de las plantaciones en el mercado, donde los productos de la cosecha provienen principalmente de estas. Adicionalmente, es importante analizar las cosechas en conjunto con la categoría de *Productos de Madera recolectada* que dan cuenta de la permanencia del carbono retenido en los productos de madera provenientes de la cosecha.

El consumo de leña presenta un crecimiento continuo en la serie temporal, y esto tiene directa relación con las emisiones que han aumentado su participación en el balance de tierras forestales, incrementándose en un 71,2 % desde 1990, y en un 2,2 % desde el 2016. En las pérdidas por consumo de leña participan especies nativas y exóticas. Entre 1990 y 2011, las especies nativas han tenido una participación superior al 50 % en las emisiones por consumo de leña y luego han disminuido hasta un 43 %, en consecuencia, las especies exóticas han aumentado su participación llegando al 57 % de las emisiones por consumo de leña.

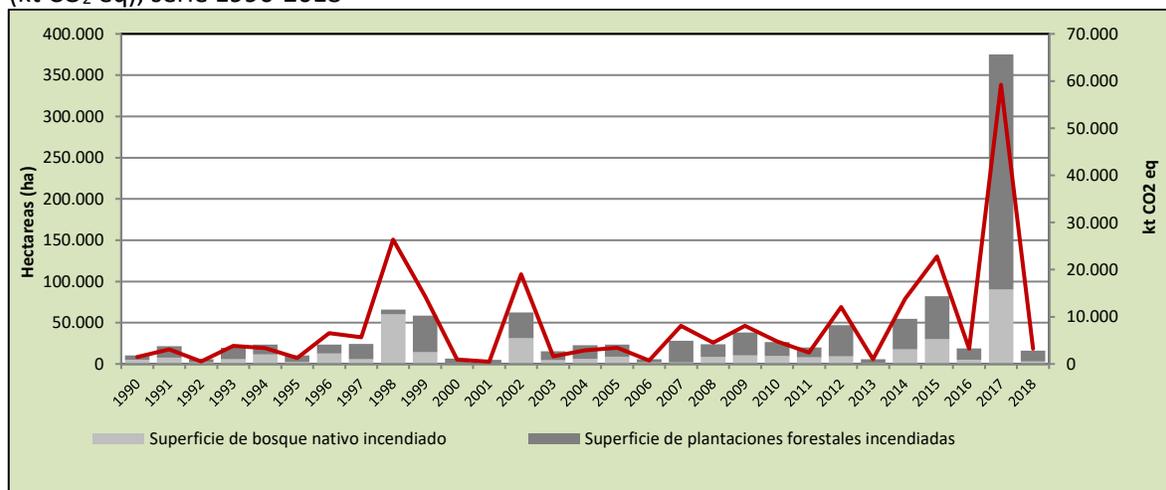
Las emisiones por cambios de coberturas vegetacionales dentro de *tierras forestales* y que corresponde al cambio desde bosque nativo a plantaciones (sustitución) ha disminuido en 72,9 % desde 1990 y se presenta un aumento de 132 % en las emisiones desde el 2016, ya que, de acuerdo con la información entregada por las matrices de cambio de uso de la tierra, hay un aumento de la superficie de sustitución que pasa de 2.369 ha anuales a las 4.390 ha anuales en 2017 y 2018.

Los cambios en el carbono de la materia orgánica muerta (DOM) están constituidos principalmente por las emisiones que provoca la transformación de bosque nativo a plantaciones y por las absorciones de la transformación tanto de plantaciones como de otros usos de la tierra en bosque nativo, ya que se considera la acumulación anual de materia orgánica muerta. En la serie temporal estos cambios son emisiones que han disminuido en 67,3 % desde 1990 y han aumentado en 161,5 % desde 2016, y tiene directa relación con el aumento de la superficie de sustitución que ha ocurrido en los dos últimos años de la serie temporal.

Los cambios en el carbono del suelo han disminuido en 45,4 % desde 1990 y en 9,6 % desde 2016. Estos cambios son absorciones de carbono debido a la conversión de tierras a tierras forestales, tanto plantaciones como bosque nativo, y en general la tendencia a la disminución se debe a la menor incorporación de tierras a *Tierras forestales* en los últimos años de la serie temporal.

Las pérdidas de carbono por incendios tienen una participación fluctuante en la serie temporal, y se destacan los años 1998, 1999, 2002, 2015 y 2017 por la gran superficie de tierras forestales afectadas por los incendios, alcanzando en el 2017 un máximo de 18,7 % de importancia en el balance de GEI. La magnitud de los incendios de 2017 disminuyó el balance en 89 % respecto de las emisiones netas alcanzadas en el año 2016. La Figura 145 evidencia que, en 1998, 1999, 2002, 2015 y 2017, cuando se alcanzan las mayores superficies incendiadas, también se alcanzan las máximas emisiones de GEI dentro de la serie temporal.

Las emisiones no-CO₂ han disminuido desde 1990 en 16,4 % y en 8,1 % desde 2016. Este componente incluye las emisiones no-CO₂ de incendios y de quemas forestales. Los incendios poseen una especial importancia dentro del balance de GEI debido a que son capaces de alterar las tendencias, generando máximas de emisiones en los años.

Figura 145. 4.A.1.b.iii.1. Incendios: superficie anual afectada por incendios (ha) y emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq), serie 1990-2018

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.4.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones y absorciones de CO₂ de la categoría *Tierras forestales*, se aplicó el método pérdidas y ganancias de biomasa para los depósitos de biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta; el método se basa en estimar el cambio anual en las existencias de carbono (Capítulo 2, Volumen 4, *Directrices del IPCC de 2006*). En general se aplicaron el método Nivel 1 y Nivel 2 para ambos componentes de la subcategoría. Se aplicó un método Nivel 2 para el CO₂ de la biomasa aérea y de la biomasa subterránea para la gran mayoría de las componentes de *Tierras forestales que permanecen como tales* mediante el desarrollo de factores de emisión país específico; para el depósito materia orgánica muerta se aplicó un método Nivel 1 y factores de emisión país específicos para la madera muerta y valores por defecto para la hojarasca. Para las emisiones no-CO₂ se utilizó método Nivel 1 y 2, ya que para los factores de emisión de los gases no-CO₂ se utiliza la información de las *Directrices del IPCC de 2006* y por otra parte se cuenta con información detallada de datos de actividad y biomasa quemada que ocurren en el país. En el caso de la subcategoría *Tierras convertidas en tierras forestales* se aplicaron combinadamente un método Nivel 1 y Nivel 2 el cual proviene de las estimaciones realizadas para la componente *Tierras forestales que permanecen como tales*; ambos métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. En la Tabla 316 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 316. 4.A. Tierras forestales: métodos aplicados

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|-------------|--|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | | Nivel metodológico | Factor de emisión | Nivel metodológico | Factor de emisión | Nivel metodológico | Factor de emisión |
| 4.A.1. | Tierras forestales que permanecen como tales | T1, T2, NE | D, CS, NE | T1, T2 | D, CS | T1, T2 | D, CS |
| 4.A.2. | Tierras convertidas en tierras forestales | T1, T2, NO | D, CS, NO | | | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta categoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo e las *Directrices del IPCC de 2006*.

A continuación, se describe el método aplicado por tipo de depósito, para cada subcategoría, indicando además los datos de actividad estadísticos y paramétricos según corresponda.

6.4.3.1. Biomasa

6.4.3.1.1. Método

Tierras forestales que permanecen como tales

Para estimar las emisiones y absorciones de carbono en tierras que permanecen en la misma categoría de todas las categorías de *Tierras* se utilizó el método de pérdidas y ganancias de biomasa (Sección 2.3.1.; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*), el que se basa en estimar el cambio anual en las existencias de carbono, a través del incremento anual de la biomasa y la reducción anual por pérdidas de biomasa (Ecuación 2.7; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*).

El incremento anual de las existencias de carbono de la biomasa viva (aérea y subterránea) se estimó aplicando la Ecuación 2.9; Capítulo 2, Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Para estimar el incremento de la biomasa aérea para cada tipo de bosque se multiplicó el incremento neto anual en volumen (I_v) por la densidad básica de la madera (D) y el factor de expansión de la biomasa (BEF_i). Luego, mediante una relación de biomasa subterránea/biomasa aérea (R), se estimó la biomasa total (Ecuación 2.10 -Niveles 2 y 3-; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*).

La reducción anual de existencias de carbono en biomasa, debido a pérdidas, se debe a la cosecha de madera comercial, cosecha leña y pérdida de biomasa y carbono por perturbaciones (incendios forestales). Para estimar las emisiones de CO₂ por reducción de las existencias de biomasa y carbono se utilizaron las ecuaciones 2.12, 2.13, y 2.14 de las *Directrices del IPCC 2006*.

En la estimación de pérdida anual de carbono por cosecha de leña se incluye la leña proveniente de bosque nativo y de especies exóticas. Si bien en la fórmula se incluye dos componentes, la cosecha de árboles vivos y la recogida de madera muerta, debido a que en el país no se cuenta con estadísticas de consumo de leña diferenciadas en estos dos orígenes, se trabaja sobre la base de que el consumo de leña proviene exclusivamente de la cosecha de árboles vivos. Además, se estiman las pérdidas de biomasa subterránea.

Como pérdidas de biomasa y de carbono por perturbaciones, se consideraron los incendios forestales, tanto de plantaciones forestales como de vegetación nativa. El parámetro "fd" define la proporción de biomasa que se pierde de la biomasa total acumulada (depósito de biomasa). En incendios de plantaciones forestales se consideró un "fd" de 0,81 y en incendios de bosque nativo

un “fd” de 0,73. Estos parámetros son los mismos utilizados en el INGEI 1984-2006 los cuales provienen de diagramas de flujo elaborados por juicio de expertos.

Para los incendios de plantaciones que ocurrieron en el año 2017 se usó la información de parámetro “fd” de 0,39 proporcionada por CORMA, ya que existía información actualizada de pérdida de biomasa efectiva ocurrida en los incendios entre las regiones de Maule a Biobío, donde hubo un mayor aprovechamiento de biomasa muerta en pie para el caso de plantaciones de pino radiata en comparación con lo considerado para el resto de la serie temporal.

Para el cálculo de emisiones y absorciones de CO₂ de incendios forestales se usó una combinación de método de Nivel 1 y Nivel 2, en base a datos paramétricos nacionales y por defecto según las *Directrices del IPCC de 2006* y desagregación regional de los datos estadísticos. En este ítem se utiliza el supuesto del nivel 1 en que todo el carbono removido de las existencias de carbono de la biomasa se emite en el año de la perturbación.

Cambios de cobertura vegetal: Sustitución y Restitución

Estos componentes se contabilizan en las *Tierras forestales* que permanecen como tal y corresponden a los cambios de coberturas vegetacionales que ocurren entre plantaciones y bosque nativo. La matriz de cambios de uso de la tierra provee la información de cambios de superficies anuales entre plantaciones y bosque nativo. Las emisiones y absorciones asociadas a estos cambios se contabilizan de acuerdo con la metodología de conversión de tierras, para dimensionar la estimación de los cambios anuales en las existencias de carbono para cada uno de los cinco depósitos debido al cambio abrupto de cobertura vegetal. El método se explica en la siguiente sección.

Tierras convertidas a tierras forestales

Para las *Tierras convertidas en tierras forestales*, la metodología aplicada para estimar emisiones y absorciones de GEI corresponde a la descrita en el Capítulo 2 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Ella permite estimar los cambios anuales en las existencias de carbono para cada uno de los cinco depósitos de carbono reconocidos por el IPCC.

Los cambios de las existencias de carbono de la biomasa se calculan como la suma del incremento de las existencias de carbono debido al crecimiento de biomasa, más los cambios debidos a la diferencia de la biomasa existente antes y después de la conversión, y menos la reducción de existencias debida a pérdidas (Ecuación 2.15; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*).

El cambio inicial de las existencias originadas por la conversión, se estimó como la diferencia de la biomasa de la categoría antes y después de la conversión multiplicada por la superficie de tierra convertida (ha) y por la fracción de carbono de materia seca ($t\ ms^{-1}$), utilizando la ecuación 2.16; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

Al igual que en la subcategoría anterior, el incremento anual de las existencias de carbono de la biomasa (aérea y subterránea) se estimó aplicando la Ecuación 2.9; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*. Para estimar el incremento de la biomasa aérea por tipo de bosque se multiplicó el incremento neto anual en volumen (I_v) por la densidad básica de la madera (D) y el factor de expansión de la biomasa (BEF). Luego, mediante el factor R, se estimó la biomasa total, es decir, la biomasa aérea más la biomasa subterránea.

Emisiones no-CO₂

La estimación de las emisiones no-CO₂ producto del fuego y se basa en a la Ecuación 2.27 de las *Directrices del IPCC de 2006*; Capítulo 2, Volumen 4, donde se resume una metodología genérica para estimar las emisiones de GEI individuales para cualquiera de los tipos de fuego.

Se utilizan los factores de combustión y de emisión según las *Directrices del IPCC de 2006*, que para el factor de combustión es de 0,45 que corresponde a todos los bosques de zonas templadas y los factores de emisión corresponden a los de la categoría “bosque tropical extra”.

6.4.3.1.2. Datos paramétricos

Los datos paramétricos provienen de distintas fuentes de información del país, no obstante, la principal fuente de información es el Inventario Forestal Nacional (IFN) que da cuenta del estado de los ecosistemas forestales nativos. El diseño del IFN considera aspectos biofísicos, de biodiversidad y socioeconómicos bajo un diseño de inventario multifuente y multinivel (Scheuder et al. 1993). Los datos son colectados de una grilla sistemática de puntos de 5 km de distancia en dirección Este-Oeste y 7 km de distancia en dirección Norte-Sur (INFOR, 2014). Esta grilla de puntos fue el resultado de un estudio de autocovarianza específico realizado en 1995 para decidir objetivamente la mejor grilla que cubriera el país. La unidad de muestreo usada es un conglomerado de tres parcelas circulares de 500 m² organizadas como parcelas de muestreo circular anidadas. Para aumentar la eficiencia de la recolección de datos en terreno las tres unidades de muestreo son tomadas en una forma de “L” invertida, donde el vértice corresponde a la unidad muestral 1. Las mediciones de terreno se realizan en un ciclo de 4 años, donde cada año, 25 % de las parcelas de terreno son evaluadas. Las estimaciones anuales son calculadas combinando los nuevos datos de terreno, las parcelas remedidas y las proyecciones corregidas para aquellas parcelas no visitadas en años previos. La corrección está basada en una calibración generada por la remediación de parcelas (Kangas, 1991). La disposición anidada de las parcelas de muestreo circular consiste de tres círculos concéntricos de radio fijo asociados a los tamaños de los árboles, el radio más grande de 12,62 m, incluye los árboles más grandes que 25 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP), árboles con diámetro mayor a 8 cm son medidos dentro del radio de 6,23 m y árboles con diámetro mayor a 4 cm son medidos en un radio de 2,0 m.

Crecimiento en volumen de plantaciones forestales: Los crecimientos anuales de volumen comercial de *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* utilizados, provienen del *Estudio de la disponibilidad de madera de plantaciones de pino insigne y eucalipto*. Periodo 2010-2040 desarrollado por INFOR. Para el resto de las especies, se utilizaron las tasas de incremento de distintas fuentes bibliográficas según se detalla en la Tabla 317.

Tabla 317. 4.A.1. Tierras forestales: incremento Medio Anual (IMA) en volumen comercial (m³ ha⁻¹ año⁻¹) de plantaciones forestales

| Especie/Región | IMAm ³ (ha-año) ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | ARI | TAR | ANT | ATA | COQ | VAL | MET | OHI | MAU | ÑUB | BIO | ARA | RIO | LAG | AIS | MAG |
| <i>Pinus radiata</i> | | | | | | 10,0 | 10,0 | 10,3 | 17,6 | 20,7 | 20,7 | 20,9 | 18,5 | 19,3 | | |
| <i>Eucalyptus globulus</i> | 8,1 | 8,1 | | 8,1 | 11,3 | 12,3 | 12,2 | 12,8 | 19,0 | 24,0 | 24,0 | 21,3 | 21,8 | 22,7 | | |
| <i>Eucalyptus nitens</i> | | | | | | | | 12,4 | 24,9 | 33,0 | 33,0 | 32,4 | 38,9 | 41,0 | | |
| <i>P.tamarugo</i> ; <i>P. chilensis</i> | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | | | | | | | | | |
| <i>Pseudotsuga menziesii</i> | | | | | | | | | 14,0 | 14,0 | 14,0 | 16,0 | 16,0 | 16,0 | 8,8 | |
| <i>Populus spp.</i> | | | | | 25,5 | | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 |
| Otras especies | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 5,5 | 7,3 | 7,3 | 9,1 | 10,9 | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 14,5 | 14,5 | 18,2 | 9,1 |

Fuente: INFOR (2013; 2005; 2007a); INGEI 1984/2006 (MMA, 2011); INFOR – CONAF (1997).

Las plantaciones de *Atriplex spp.* se excluyen de las *Tierras forestales*, por tratarse de una especie arbustiva forrajera; esta superficie es contabilizada tanto en *Pastizales que permanecen como tales* como en *Tierras de cultivo que permanecen como tales*; la inclusión en la segunda se hizo para estimar la cantidad de residuos generados anualmente.

Crecimiento en volumen de bosque nativo: Se utiliza la información de crecimiento que reporta el IFN. Los datos de crecimiento corresponden al incremento periódico anual medio (IPA, m^3 (ha año)⁻¹), por tipo forestal, y corresponden a datos de parcelas permanentes del IFN (Tabla 318). La información de crecimiento se detalla por clases de diámetro, la cual cuenta con una asignación diferenciada según la subcategoría a la cual pertenecen los bosques: Renovales, Reservas y Parques Nacionales. Estos datos al ser usados junto a las superficies de variables de estado generadas por el IFN para área basal y número de árboles por hectárea, brindan una expresión espacial detallada. Esto permite la generación de proyección de crecimiento más detallada, que cuenta con una resolución espacial de una (1) hectárea.

Tabla 318. 4.A.1. Tierras forestales: incremento periódico anual (IPA) por tipo forestal para bosques de segundo crecimiento y bosques que se encuentran en reservas y parques nacionales

| Tipo Forestal | IPA (m^3 (ha año) ⁻¹) | | | | | |
|-------------------------|--------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | DAP <10 cm | DAP 10.1-20 cm | DAP 20.1-30 cm | DAP 30.1-40 cm | DAP 40.1-50 cm | DAP 50.1-60 cm |
| Alerce | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Ciprés de las Guaitecas | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,9 |
| Araucaria | 4,6 | 4,6 | 4,6 | 4,6 | 4,6 | 4,6 |
| Ciprés de la cordillera | 2,7 | 2,7 | 4,7 | 4,7 | 3,9 | 3,9 |
| Lenga | 3,9 | 7,5 | 7,3 | 6,3 | 5,5 | 3,9 |
| Coihue de Magallanes | 3,7 | 3,7 | 6,1 | 6,1 | 4,6 | 4,6 |
| Roble-Hualo | 3,5 | 3,5 | 4,6 | 4,6 | 3,0 | 3,0 |
| Roble Raulí Coihue | 4,1 | 7,4 | 7,1 | 5,9 | 4,8 | 4,0 |
| Coihue Raulí Tepa | 4,9 | 5,6 | 7,3 | 6,3 | 6,0 | 5,2 |
| Esclerófilo | 1,6 | 1,6 | 2,2 | 2,2 | 1,9 | 1,9 |
| Siempreverde | 4,1 | 6,3 | 6,2 | 6,0 | 5,4 | 4,9 |

Fuente: Equipo Técnico de INFOR, de acuerdo a datos IFN.

Para el caso del bosque nativo con planes de manejo, no se cuenta con la localización geográfica de estos, por lo tanto, para asignar los IPA se utiliza un valor único de crecimiento por tipo forestal (Tabla 319).

Tabla 319. 4.A.1. Tierras forestales: incremento periódico anual (IPA) por tipo forestal para bosque nativo (planes de manejo).

| Tipo Forestal | IPA Volumen m^3 (ha año) ⁻¹ |
|-------------------------|--|
| ALERCE ¹ | 0,5 |
| CIPRES DE LAS GUAITECAS | 3,9 |
| ARAUCARIA ² | 4,6 |
| CIPRES DE LA CORDILLERA | 5,0 |
| LENGA | 5,8 |
| COIHUE DE MAGALLANES | 2,6 |

| Tipo Forestal | IPA Volumen m ³ (ha año) ⁻¹ |
|--------------------|---|
| ROBLE HUALO | 5,1 |
| ROBLE-RAULI-COIHUE | 6,6 |
| COIHUE-RAULI-TEPA | 5,8 |
| ESCLEROFILO | 1,5 |
| SIEMPREVERDE | 6,0 |

Fuente: Equipo Técnico de INFOR a partir de base de datos de parcelas permanentes del IFN (INFOR). ¹ INFOR (2007b).² Mujica (2003).

Existencias forestales: los datos de volumen medio acumulado (existencias) se determinan por región (Tabla 320), por tipo forestal y etapa de desarrollo del bosque y provienen de los datos del IFN. El inventario forestal nacional ha completado el ciclo que establece la línea base de información en el año 2010 y desde el año 2011 inicio su primer ciclo de monitoreo el cual finaliza el año 2014. Se considera para los cálculos en la serie temporal para los años 1990 a 2010 la información del ciclo base y a partir del año 2011 la información de primer ciclo de monitoreo. Entre las regiones de Arica y Parinacota y Atacama se utilizaron los datos de biomasa acumulada presentada en inventarios anteriores (MMA, 2011). Cuando la información de dato de actividad se encuentra disponible por tipo forestal y estado de desarrollo, se considera la información de existencias diferenciado en dichas categorías.

Tabla 320. 4.A.1. Tierras forestales: existencias promedio de volumen comercial de bosque nativo por hectárea a la edad de rotación (m³ ha⁻¹)

| Región | Ciclo 0 IFC para calculo 1990 a 2010 Existencia (m ³ ha ⁻¹) | Ciclo 1 IFC para calculo 2011 y más Existencia (m ³ ha ⁻¹) |
|--------------------|---|--|
| Arica y Parinacota | 10,4 | 10,4 |
| Tarapacá | 10,4 | 10,4 |
| Antofagasta | 10,4 | 10,4 |
| Atacama | 10,4 | 10,4 |
| Coquimbo | 28,8 | 28,8 |
| Valparaíso | 21,2 | 21,2 |
| Metropolitana | 30,4 | 28,2 |
| O'Higgins | 36,4 | 36,4 |
| Maule | 92,5 | 92,5 |
| Biobío | 172,6 | 172,6 |
| Araucanía | 299,7 | 290,6 |
| Los Ríos | 378,2 | 357,4 |
| Los Lagos | 311,5 | 265,4 |
| Aisén | 266,3 | 266,3 |
| Magallanes | 251,5 | 248,2 |

Fuente: INGEI 1984/2006 (MMA, 2011, INFOR (2011; 2015).

Para las existencias de carbono en el matorral arborescente se considera la información levantada en el país por Gayoso et al. (2002) y Gayoso (2006) (Tabla 321).

Tabla 321. 4.A.1. Tierras forestales: existencias de carbono en matorral

| Especie | Rotación (años) |
|--------------------|-----------------|
| Matorral (ARI-BIO) | 3,36 |

| Especie | Rotación (años) |
|--------------------|-----------------|
| Matorral (ARA-MAG) | 7,99 |

Fuente: Gayoso et al. 2002 y Gayoso 2006.

Las existencias en volumen, de las especies exóticas se calcularon multiplicando el crecimiento por la edad a la cual se considera el volumen que se requiere evaluar. Como referencia en la Tabla 322 se presenta la duración de la rotación por especie.

Tabla 322. 4.A.1. Tierras forestales: Edad de la rotación forestal por especie

| Especie | Rotación (años) |
|--|-----------------|
| <i>Pinus radiata</i> | 20 |
| <i>Eucalyptus globulus</i> | 11 |
| <i>Eucalyptus nitens</i> | 13 |
| <i>Prosopis chilensis; Prosopis tamarugo</i> | 60 |
| <i>Pseudotsuga menziesii</i> | 35 |
| <i>Populus spp.</i> | 15 |
| Otras especies | 35 |

Fuente: INGEI 1984-2006 (MMA, 2011).

Densidad básica: para obtener valores de biomasa expresados en toneladas (t) se requiere contar con valores de densidad básica de la madera, variable que expresa el peso seco o anhidro presente en un volumen dado cuando se encuentra verde, con un contenido de humedad igual o mayor al punto de saturación de las fibras (equivalente al 30 %). Se realizó una revisión bibliográfica de densidades básicas de las especies forestales en Chile y no teniendo modificaciones. Con estos datos se determinó el valor promedio de densidad básica por especie ($t\ m^{-3}$), y su desviación estándar, lo que se muestra en la Tabla 323.

Tabla 323. 4.A.1. Tierras forestales: densidad básica de madera (promedio y desviación estándar) por especie forestal.

| Especie | Densidad básica ($t\ m^{-3}$) | Desviación Estándar |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| <i>Pinus radiata</i> | 0,39 | 0,04 |
| <i>Eucalyptus globulus</i> | 0,53 | 0,07 |
| <i>Eucalyptus nitens</i> | 0,45 | 0,03 |
| <i>Prosopis chilensis/P. tamarugo</i> | 0,79 | 0,11 |
| <i>Pseudotsuga menziesii</i> | 0,36 | 0,03 |
| <i>Populus spp.</i> | 0,30 | 0,03 |
| Especies nativas | 0,50 | 0,11 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS a partir de datos de: Davel et al (2005); Gayoso (2002); Gorrini et al. (2004); Kininmonth & Whitehouse (1991); Hernández y Pinilla (2010); INFOR-CORFO (1986); Jovanovski et al. (2005); Loewe et al. (2007); Melo et al. (1981); Peredo (2000); Pérez (1982; 1983); Poblete (2002); Prado et al. (1989); Rojas et al. (1993); Rozas (2002); Rozas et al. (2005); Torricelli & Torricelli (1942).

Factores de expansión: para expandir el volumen comercial de los árboles al volumen total de la biomasa aérea se utilizaron factores de expansión de biomasa comercial arbórea determinados en el proyecto FONDEF "Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial, en el informe técnico Inventario de biomasa y contabilidad de carbono" (Gayoso, 2002), los que se muestran en la Tabla 324.

Tabla 324. 4.A.1. Tierras forestales: factores de expansión de biomasa comercial arbórea

| Especie | Factor de expansión |
|------------------------------|---------------------|
| <i>Pinus radiata</i> | 1,56 |
| <i>Eucalyptus spp.</i> | 1,77 |
| <i>Pseudotsuga menziesii</i> | 1,59 |
| Otras especies | 1,64 ¹ |

| Especie | Factor de expansión |
|---------------|---------------------|
| Bosque nativo | 1,75 |
| Leña | 1,28 ² |

¹ El valor para "Otras especies" corresponde al promedio de *P. radiata*, *Eucalyptus* y *P. menziesii*.

² Calculado para la suma del fuste más la corteza de especies nativas (Gayoso et al., 2002).

Fuente: Equipo Técnico UTCUTS a partir de Gayoso (2002).

Debido a que la leña incluye la corteza, se calculó el factor de expansión considerando la proporción del fuste comercial más la corteza. Este factor se calculó a partir de datos del estudio "Contenido de Carbono y funciones de Biomasa en Especies Nativas y Exóticas" de Gayoso et al. (2002).

Relación entre biomasa subterránea (raíces) con biomasa aérea (R): los factores R provienen de información levantada en el país (Tabla 325) Gayoso et al. (2002) y Gayoso (2006). Los valores determinados para estas especies están dentro del rango de valores indicados en las *Directrices del IPCC de 2006* para bosque templados (entre 0,20 y 0,46, según Cuadro 4.4; Capítulo 4; Volumen 4) y también dentro de los valores disponibles a nivel mundial, que entregan factores R que oscilan entre 0,09 y 0,33 (Coomes & Grubb, 2000; Cairns et al., 1997).

Tabla 325. 4.A.1. Tierras forestales: factor R (relación entre raíces y biomasa aérea) para especies de árboles forestales

| Especie | Factor R |
|------------------------------|-------------------|
| Especies Nativas | 0,29 |
| <i>Pinus radiata</i> | 0,25 |
| <i>Eucalyptus</i> spp. | 0,22 |
| <i>Pseudotsuga menziesii</i> | 0,28 |
| Otras especies | 0,25 ¹ |
| Matorral (ARI-BIO) | 1,61 |
| Matorral (ARA-MAG) | 1,2 |

¹ El valor de "Otras especies" corresponde al promedio de *P. radiata*, *Eucalyptus* y *P. menziesii*.

Fuente: Gayoso et al. (2002), Gayoso 2006

Para las *tierras que se convierten a tierras forestales* se utilizó la información de referencia de las *Directrices del IPCC de 2006* de biomasa y de R de (Tabla 326 y Tabla 327).

Tabla 326. 4.A.2. Tierras convertidas en tierras forestales: biomasa acumulada

| Categoría | Biomasa acumulada antes de la conversión (t ha ⁻¹) |
|--------------------|---|
| Tierras de cultivo | 10,0 |
| Pastizales ARI-MAU | 1,6 |
| Pastizales ÑUB-LAG | 2,7 |
| Pastizales AIS-MAG | 2,4 |
| Humedales | s/i |
| Asentamientos | 2,0 |
| Otras Tierras | 0,0 |

Fuente: *Directrices del IPCC de 2006*: Cultivos Tabla 5.9, Pastizales Tabla 6.1. Criterio Experto ISGEI 1984-2006 para Asentamientos

Tabla 327. 4.A.2. Tierras convertidas en tierras forestales: factor R

| Categoría | Factor R |
|--------------------|----------|
| Pastizales ARI-MAU | 2,8 |
| Pastizales ÑUB-LAG | 4 |
| Pastizales AIS-MAG | 4 |

Fuente: *Directrices del IPCC de 2006*: Pastizales Tabla 6.1

Pérdidas de biomasa: se calculan a partir de las estadísticas de consumo de madera y leña (datos de actividad) y se utiliza la densidad y factores de expansión detallados previamente.

6.4.3.2. Materia Orgánica Muerta

6.4.3.2.1. Método

Tierras forestales que permanecen como tales

Se considera una metodología de Nivel 1 para el caso de la materia orgánica muerta de las *Tierras forestales* que permanecen como tal, ya que no se reportan cambios en este depósito de carbono, pues se asumen en equilibrio. La excepción la constituyen las tierras con cambio de cobertura, sustitución y restitución, donde se considera la metodología como tierras en conversión para la materia orgánica muerta. Se utiliza una metodología de Nivel 1, para las *Tierras forestales* sustituidas desde bosque nativo a plantación forestal, por lo que se considera la emisión de toda la materia orgánica muerta en el año del cambio de cobertura. Por otra parte, las tierras que se restituyen desde plantaciones a bosque nativo acumulan materia orgánica durante un período de transición que para estos efectos es de 20 años. No se considera acumulación de materia orgánica muerta en las plantaciones forestales debido a la intensidad de manejo a la que son sometidas.

Tierras convertidas en tierras forestales

El cambio anual en las existencias de carbono en la materia orgánica muerta se estimó aplicando la Ecuación 2.23; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

6.4.3.2.2. Datos paramétricos

La materia orgánica muerta considera dos categorías, la madera muerta y la hojarasca, en el caso del país se cuenta con información de la madera muerta para los bosques naturales, árboles muertos en pie y residuos leñosos gruesos, que provienen del IFN. La medición de los residuos gruesos se realiza a través de transectos, residuos que corresponden a ramas y troncos de árboles y arbustos que tienen un diámetro de intersección con el transecto mayor o igual a 10 cm. La información se encuentra diferenciada por tipo forestal (Tabla 328), se considera un contenido de carbono país específico de acuerdo con estudio de Gayoso *et al.* (2002).

Tabla 328. 4.A.1. Tierras forestales: madera muerta (residuos gruesos y árboles muertos en pie) por tipo forestal

| Tipo forestal | Residuos gruesos | Árboles Muertos en pie | Total t/ha | Factor de carbono ¹ | Carbono (t/ha) |
|--------------------------|------------------|------------------------|------------|--------------------------------|----------------|
| | t/ha | | | | |
| ALERCE | 78,6 | 204,4 | 282,9 | 0,43 | 121,4 |
| *CIPRES DE LAS GUAITECAS | | | 0,0 | 0,43 | 0,0 |
| ARAUCARIA ² | 134,4 | 176,6 | 311,0 | 0,43 | 133,4 |
| *CIPRES DE LA CORDILLERA | | | 0,0 | 0,43 | 0,0 |
| LENGA | 71,4 | 29,8 | 101,2 | 0,43 | 43,4 |
| COIHUE DE MAGALLANES | 316,5 | 10,1 | 326,6 | 0,43 | 140,1 |
| ROBLE-RAULI-COIHUE | 92,0 | 31,3 | 123,3 | 0,43 | 52,9 |
| COIHUE-RAULI-TEPA | 124,3 | 49,1 | 173,4 | 0,43 | 74,4 |
| ESCLEROFILO | 27,2 | 11,8 | 38,9 | 0,43 | 16,7 |
| SIEMPREVERDE | 104,4 | 46,7 | 151,1 | 0,43 | 64,8 |

* No se cuenta con información suficiente

¹ fracción de carbono país específico (Gayoso *et al.*, 2002)

Fuente: Equipo INFOR a partir de información del IFN.

Para la información de la hojarasca se utiliza los valores de referencia de las *Directrices del IPCC de 2006* adecuados a las regiones y clima del país, según Tabla 329.

Tabla 329. 4.A.1. Tierras forestales: biomasa de hojarasca y contenido de carbono

| Regiones | Clima | Factor carbono | Biomasa (t/ha) | Broadleaf deciduos tC/ha |
|-----------|-----------------------|----------------|----------------|--------------------------|
| ARI a MAU | Warm temperate - Dry | 0,37 | 76,22 | 28,2 |
| BIO a LAG | Warm temperate -Moist | 0,37 | 35,14 | 13,0 |
| AIS a MAG | Cold temperate moist | 0,37 | 43,24 | 16,0 |

Fuente: Tabla 2.2, Cap. 2, Vol. 4, *Directrices del IPCC de 2006*.

6.4.3.3. Carbono del suelo

6.4.3.3.1. Método

Chile no cuenta con información detallada de carbono del suelo, no obstante, para contar con un INGEI completo en cuanto a la inclusión de los depósitos de carbono, esta serie temporal ha incluido el cálculo a partir de los valores de referencia que entrega las *Directrices del IPCC de 2006*. El cambio anual del depósito de carbono del suelo se determina considerando el método por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* para suelos minerales, de acuerdo con la Ecuación 32 descrita a continuación.

Ecuación 32. Tierras convertidas en tierras forestales: cambio anual en las existencias de carbono en madera muerta y hojarasca debido a la conversión en el uso de la tierra

$$\Delta CEI_{Mineral} = \frac{(SOC_0 - SOC_{(0-T)})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF_{c,s,i}} * FLU_{c,s,i} * FMG_{c,s,i} * A_{c,s,i})$$

Fuente: Ecuación 2.25; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $\Delta C_{Mineral}$ = Cambio anual en las existencias de carbono de suelos minerales (t C año⁻¹),
- SOC_0 = Existencias de carbono orgánico del suelo en el último año de un período de tiempo del inventario (t C),
- $SOC_{(0-T)}$ = Existencias de carbono orgánico del suelo al comienzo de un período de tiempo del inventario (t C),
- SOC_0 y $SOC_{(0-T)}$ son calculados usando la ecuación de SOC donde las existencias de carbono del suelo y los factores de cambio de existencias son asignados de acuerdo al uso de la tierra y las actividades de manejo y las correspondientes áreas a cada uno de los puntos en el tiempo (tiempo=0 y tiempo=0-T)
- T = cantidad de años de un período de inventario dado, año
- D = Dependencia temporal de los factores de cambio de existencias, que es el lapso por defecto para la transición entre los valores de equilibrio del SOC, año. Habitualmente 20 años, pero depende de las hipótesis que se apliquen en el cálculo de los factores FLU, FMG y FI. Si T es mayor que D, úsese el valor de T para obtener la tasa anual de cambio durante el tiempo de inventario (0 – T años).

- c representa las zonas climáticas, s los tipos de suelo, e i el conjunto de sistemas de gestión que se dan en un país dado.
- SOC_{REF} = las existencias de carbono de referencia, t C ha⁻¹
- F_{LU} = factor de cambio de existencias para sistemas de uso de la tierra o subsistemas de un uso de la tierra en particular, sin dimensión
[Nota: FND se sustituye por FLU en el cálculo del C en suelos forestales para estimar la influencia de los regímenes de perturbaciones naturales.
- F_{MG} = factor de cambio de existencias para el régimen de gestión, sin dimensión
- F_I = factor de cambio de existencias para el aporte de materia orgánica, sin dimensión
- A = superficie de tierra del estrato que se estima, (ha) toda la tierra del estrato debe tener condiciones biofísicas (es decir, clima y tipo de suelo) y una historia de gestión durante el período de inventario en común para que se la pueda considerar en su conjunto con fines analíticos.

Tierras forestales que permanecen como tal

De acuerdo con el método por defecto se considera que el carbono del suelo en *Tierras forestales* que permanecen como tal no se modifica por la gestión, por lo que no se reportan cambios anuales en este depósito. La excepción la constituyen las *tierras forestales* con cambio de cobertura (sustitución y restitución), donde se consideró el cálculo como una conversión de usos de la tierra (Ecuación 32), donde las plantaciones tienen un factor de aporte de materia orgánica (F_I) menor debido a la intensidad del manejo que extrae los residuos del suelo.

Tierras convertidas en tierras forestales

Para el caso de *tierras convertidas en tierras forestales* se considera la aplicación de la Ecuación 32. Se toman los valores de referencia para el carbono del suelo que entregan las *Directrices del IPCC de 2006* así como los factores de cambio que entrega para los distintos tipos de uso de la tierra.

6.4.3.3.2. Datos paramétricos

Se consideran los valores de referencia de *Directrices del IPCC de 2006* de la Tabla 2.3 del Capítulo 2 Volumen 4, que se basan en superficies de tierra que están estratificadas por regiones climáticas y en tipos de suelo por defecto, y se considera el contenido de carbono a una profundidad de 30 cm. Estos valores de referencia de carbono del suelo fueron adaptados a los tipos de suelo en el proceso de actualización del INGEI Serie 1990-2016. Se consideraron las condiciones climáticas del país para las distintas regiones administrativas y se recurrió a fuentes de información (CIREN, Catastro de Superficies Agropecuarias y juicio experto) del país que dan cuenta del tipo de suelo que existe en cada región. Esta información se cruzó con la información de la cobertura de bosques naturales del país proveniente del *Catastro* que da cuenta de los bosques naturales del país. Luego, se estableció la participación del tipo de suelo que existe en cada región y se calculó ponderando el valor de referencia por la participación del tipo de suelo en la región (Tabla 330). Este método permitió adaptar a la variedad de situaciones de suelos del país los valores de referencia de las *Directrices del IPCC de 2006*.

La información de factores de cambio de existencias se consideró en base a las tablas publicadas por las *Directrices del IPCC de 2006*. Los factores de cambio de las existencias se definen a grandes rasgos e incluyen: 1) un factor de uso de la tierra (F_{LU}) que refleja los cambios en las existencias de carbono relacionados con el tipo de uso de la tierra, 2) un factor de gestión (F_{MG}) que representa la principal práctica de gestión específica del sector de uso de la tierra (p. ej. diferentes prácticas de

labores en tierras de cultivo), y 3) un factor de aporte (F_i) que representa los distintos niveles de aporte de carbono al suelo.

Tabla 330. 4.A.1. Tierras forestales: carbono de referencia estimado por regiones administrativas de país.

| Region | Temp | Precip | HAC | LAC | Sandy | Spodic | Volcanic | Wetland | Fuente: para establecer porcentajes de tipos de suelos | SOC ref |
|---------------|----------------|--------|--------|--------|-------|--------|----------|---------|---|---------|
| | | | | | | | | | | |
| ARICA | Warm Temperate | Dry | 20% | 0% | 80% | 0% | 0% | 0% | Estimado con mapas | 22,80 |
| TARAPACA | Warm Temperate | Dry | 60% | 0% | 40% | 0% | 0% | 0% | Estimado con mapas | 30,40 |
| ANTOFAGASTA | Warm Temperate | Dry | 60% | 0% | 40% | 0% | 0% | 0% | Estimado con mapas | 30,40 |
| ATACAMA | Warm Temperate | Dry | 50% | 0% | 50% | 0% | 0% | 0% | Estimado con mapas | 28,50 |
| COQUIMBO | Warm Temperate | Dry | 80% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | Estimado con mapas | 34,20 |
| VALPARAISO | Warm Temperate | Dry | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | Calculado con capas CIREN | 38,00 |
| METROPOLITANA | Warm Temperate | Dry | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | Calculado con capas CIREN | 38,00 |
| O'HIGGINS | Warm Temperate | Dry | 99% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | Calculado con capas CIREN | 37,86 |
| MAULE | Warm Temperate | Dry | 88,8 % | 5,8 % | 0% | 0% | 5,7% | 0% | Calculado con capas CIREN | 39,13 |
| ÑUBLE | Warm Temperate | Moist | 12,6 % | 0,1 % | 6% | 0% | 81,3% | 0% | Calculado con capas CIREN | 78,20 |
| BIO-BIO | Warm Temperate | Moist | 12,6 % | 0,1 % | 6% | 0% | 81,3% | 0% | Calculado con capas CIREN | 78,20 |
| ARAUCANIA | Warm Temperate | Moist | 18,7 % | 14,3 % | 0,1% | 0% | 67,0% | 0% | Calculado con capas CIREN | 79,05 |
| RIOS | Warm Temperate | Moist | 8,0% | 36,0 % | 0% | 0% | 56,0% | 0% | Calculado con capas CIREN | 74,49 |
| LAGOS | Warm Temperate | Moist | 20,9 % | 10,0 % | 0% | 0% | 69,2% | 0% | Calculado con capas CIREN | 79,99 |
| AYSEN | Cool Temperate | Moist | 36% | 0% | 2,0% | 1,5% | 60,5% | 0,0% | Modificado de catastro de superficies agropecuarias, Boletín 300 INIA, convirtiendo mayor parte de "sandy" a HAC y Andisoles para reflejar laderas. | 116,00 |
| MAGALLANES | Cool Temperate | Moist | 35% | 0% | 10% | 50% | 0% | 5% | Estimado con literatura ("Suelos de Chile" por Luzio Leighton) y juicio experto (Jorge Ivelic) | 102,20 |

Fuente: Elaborado por equipo sectorial Agricultura y UTCUTS a partir de Valores de Referencia de *Directrices del IPCC de 2006*: Tabla 2.3.

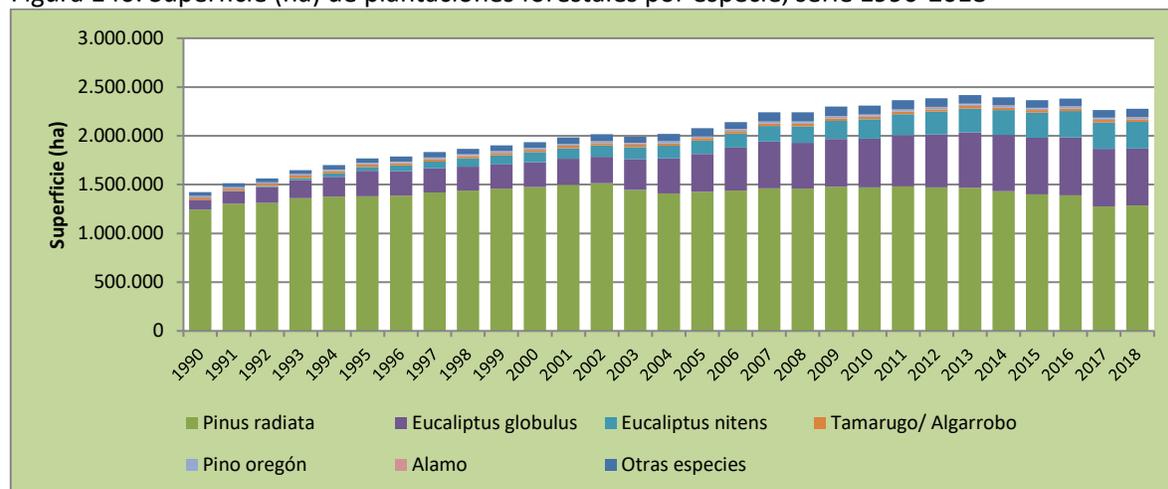
6.4.3.4. Datos de actividad estadísticos

En general se realizó una revisión exhaustiva de los datos de actividad estadísticos colectados para la construcción de la serie 1990-2016 y se colectaron nuevos datos de actividad considerando la serie 1990-2018.

Superficie de plantaciones forestales la información de superficie de plantaciones se origina en el Programa de Actualización Permanente de Plantaciones Forestales de INFOR y da cuenta de la

superficie de plantaciones que está creciendo en el país. A partir de las matrices de cambio de uso de la tierra de CONAF se estiman las superficies de tierras convertidas anualmente a plantación forestal y se determina la superficie de plantaciones de *tierras forestales que permanecen como tal*. La Figura 146 muestra el detalle de la serie temporal de superficie total de plantaciones forestales diferenciada por especies.

Figura 146. Superficie (ha) de plantaciones forestales por especie, serie 1990-2018



Fuente: INFOR (Anuarios Forestales)

Superficie de bosques de segundo crecimiento (Renovales): los renovales son bosques que se consideran en la contabilidad del inventario pues al ser bosques que surgieron de perturbaciones, como incendios forestales en bosques primarios. Los bosques se mantienen bajo crecimiento hasta alcanzar los 60 cm de diámetro medio cuadrático. En base a la información de variables de estado del IFN (INFOR) y de las superficies clasificadas como *Renovales* y *Bosque adulto renoval* del *Catastro*, se aplica una regla simple de transición de estado, basada en el incremento periódico anual en área basal, por tipo forestal. A partir de esta proyección de crecimiento, las superficies así clasificadas en el *Catastro* pasaron a constituir automáticamente bosques adultos en equilibrio, al alcanzar o superar un diámetro medio cuadrático de 60 cm. El cálculo y clasificación está supeditado a la disponibilidad de datos de parcelas permanentes del IFN. En zonas sin información, donde no es posible realizar una proyección, se mantuvieron los datos provenientes de las últimas actualizaciones de *Catastro*, sin hacer crecer el bosque (Figura 147).

Superficie de bosque nativo manejado: proviene del Sistema de Actualización y Fiscalización Forestal (SAFF) de CONAF, que se detalla por tipo forestal, tipo de manejo y región administrativa. Dado que CONAF tiene información acerca de los planes de manejo aprobados cada año, pero no cuenta con la información acerca de los planes efectivamente ejecutados, se asumió que “plan aprobado es plan ejecutado el mismo año de su aprobación”, haciendo un símil con la cosecha forestal, en el sentido que todo lo cosechado es emitido el año de la cosecha. Los manejos ejecutados en bosque nativo se realizan en diferentes fases del desarrollo de un bosque (Tabla 331); para evitar doble contabilidad, la superficie que corresponde a las cortas intermedias o raleos que se realizan en una fase de desarrollo de bosque latizal-fustal (fase 2) se excluyen de esta superficie por estar considerada en la superficie de renovales (Figura 147 y Tabla 331).

Tabla 331. Tierras forestales que permanecen como tales: tipos de manejos asignados a cada fase

| Fases | Tipo de manejo |
|--------|---|
| Fase 1 | Clareos, eliminación de especies vegetales exóticas invasoras, corta bosque quemado, corta de liberación, corta de limpieza, corta de mejoramiento, corta de recuperación, corta final, corta por artículo 19, corta preparatoria, corta de regeneración, despejado, enriquecimiento ecológico, estimulación de la regeneración, plantación suplementaria, raleo a desecho, reforestación, revegetación, siembra directa. |
| Fase 2 | Corta intermedia, corta sanitaria, poda, poda baja, poda con fines no madereros, poda de formación, raleo, raleo con fines no madereros, raleo latizal, raleo fustal, raleo productivo. |
| Fase 3 | Anillamiento, corta preparatoria. |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

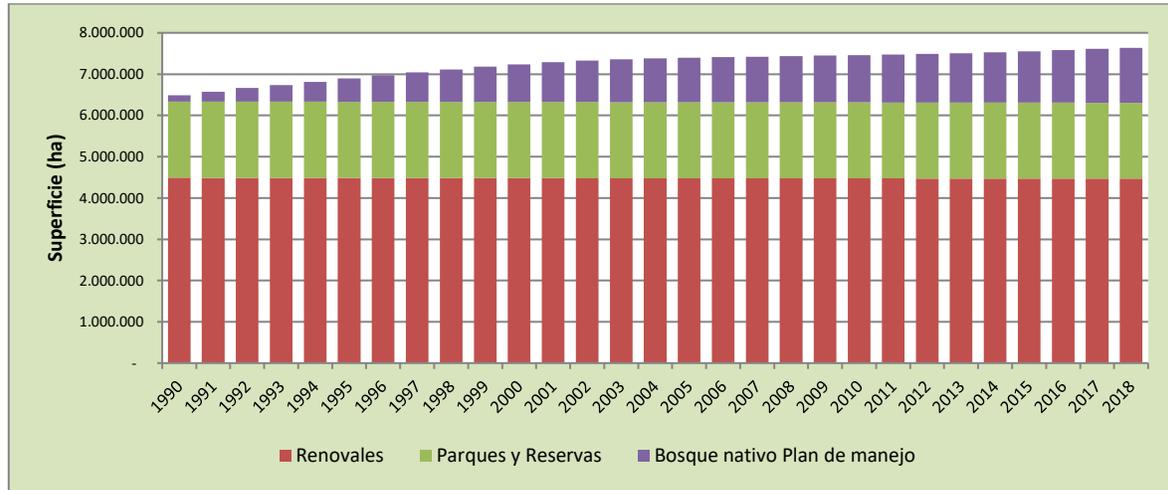
Superficie de reservas y parques nacionales: esta información proviene de la cobertura del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) denominada Límite Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (CONAF, 2013). Esta cartografía contiene los límites de las unidades que componen el SNASPE; dichos límites corresponden a la representación en el territorio de lo que establece el Decreto de Creación asociado a cada unidad, para cada categoría establecida; esto es Parque Nacional, Monumento Natural y Reserva Nacional. Para cada una de las unidades se entrega el área en hectáreas. De esta cobertura se excluye la superficie que clasifica como renoval ya que esta contabilizada en la categoría Renovales. Se considera toda la superficie que tiene menos de 60 cm de DMC para efectos de la contabilidad de emisiones y absorciones. La superficie que alcanza los 60 cm se considera que se encuentra en equilibrio y no contabiliza absorciones.

Para *Tierras convertidas en tierras forestales* se consideró la superficie anual de Tierras de Cultivo, Pastizales, Humedales, Asentamientos y Otras Tierras que se convierten a bosque nativo o plantación forestal. Dichos datos obtenidos de los informes del *Catastro*, fueron desagregados por región y por tipo de uso de la tierra. También se requirió la interpolación o extrapolación de datos a partir de dichos informes para algunos años.

Superficie de tierras convertidas a bosque nativo: La superficie de tierras que se convierte a bosque nativo proviene de la matriz de cambio de uso de la tierra que genera CONAF. El bosque nativo resultante de la conversión puede identificarse si es renoval u otro tipo de bosque nativo, si se clasifica como renoval, entonces las absorciones no se contabilizan en la categoría de conversión pues ya están consideradas en la categoría renoval, y así se evita una doble contabilidad.

Toda la información de superficie de bosque nativo se resume en la Figura 147.

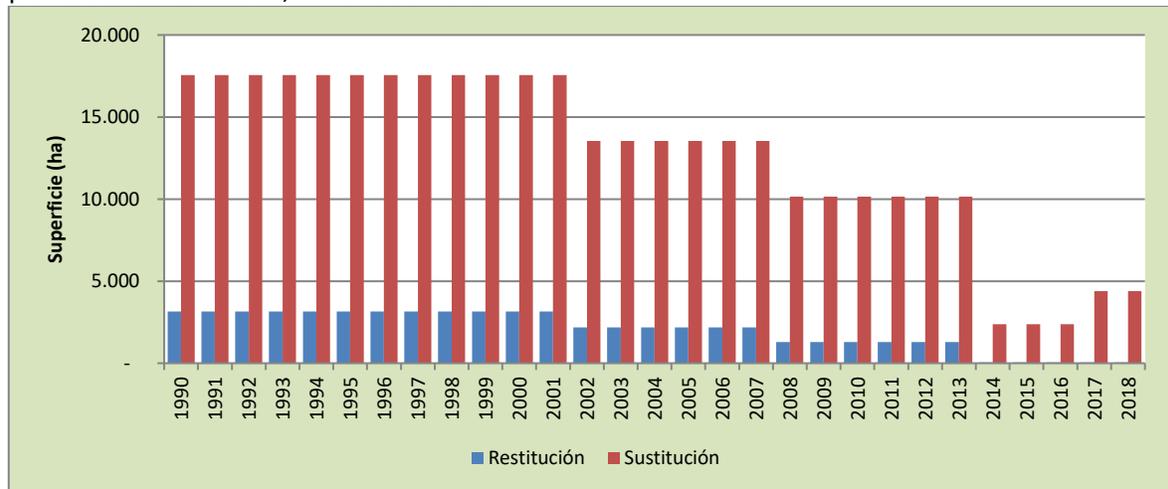
Figura 147. Superficie de Renovales, Parques y Reservas y Bosques con plan de manejo, serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Superficies de sustitución y restitución: A partir de las matrices de cambio de uso de la tierra, se estiman las superficies de tierras restituidas a tierras forestales nativas que provienen de plantaciones forestales y las superficies de plantaciones forestales que se formaron sustituyendo superficie de bosque nativo desde 1990 (Figura 148).

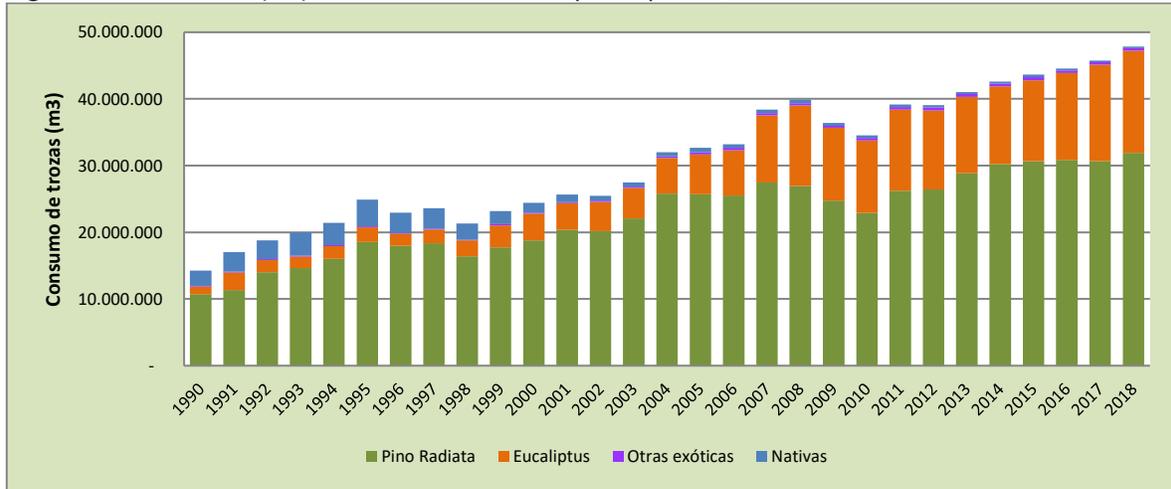
Figura 148. Superficie (ha) restituida a tierras forestales nativas y superficie convertida a plantaciones forestales, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Cosecha de madera comercial: el dato estadístico principal es el volumen de cosecha comercial de trozas, dato generado por INFOR (2019a) (Figura 149). Los datos paramétricos usados son factores de expansión de biomasa comercial a biomasa total aérea (Gayoso *et al.*, 2002), relación entre biomasa subterránea y aérea (Gayoso *et al.*, 2002) y densidad básica de la madera.

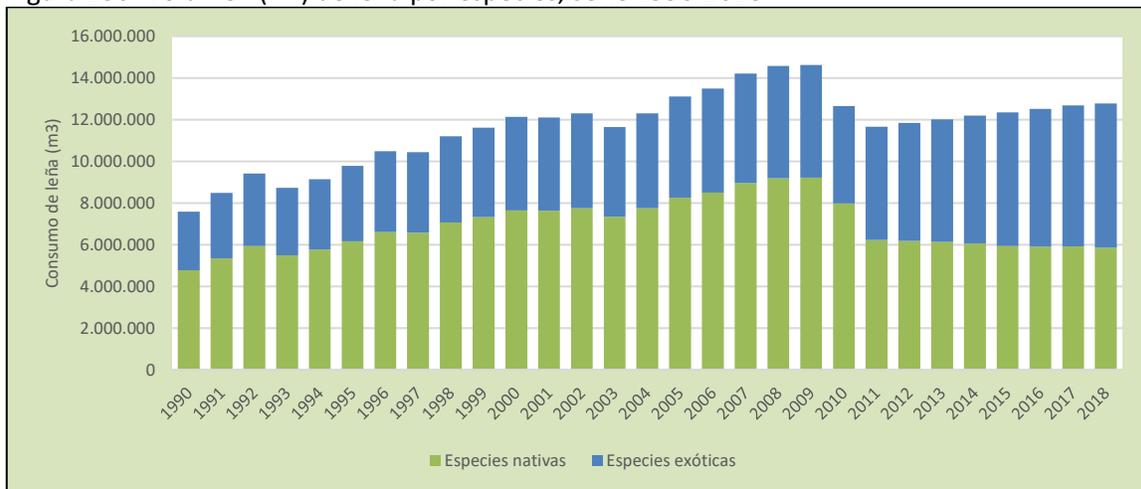
Figura 149. Volumen (m³) de trozas cosechadas por especies, serie 1990-2018



Fuente: INFOR, 2019a

Cosecha de leña: A pesar de su importancia, existen pocos estudios que estimen el consumo nacional de leña y derivados (aserrín, viruta, corteza y despuntes, entre otros). En 1994, el Instituto Forestal publicó una primera estimación (INFOR, 1994), a la cual seguiría el estudio realizado por Gómez-Lobo y su equipo (Gómez-Lobo *et al.*, 2006). Ambas estimaciones fueron bastante consistentes entre sí, y coincidentes con las estimaciones anuales publicadas por la Comisión Nacional de Energía hasta el 2011. Entre los años 2012 y 2014 se produjo un vacío de información y en el año 2015 la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) publicó una nueva estimación (CDT, 2015), cuyos resultados se alejan significativamente de las estimaciones anteriores, y de otros estudios que se han realizado a nivel regional considerando una notable disminución del consumo de leña (INFOR, 2019b). Por esta razón, se estimó el valor de consumo para el período 2011-2018 considerando los estudios anteriores y el estudio de la CDT sólo de manera referencial (Figura 150).

Figura 150. Volumen (m³) de leña por especies, serie 1990-2018



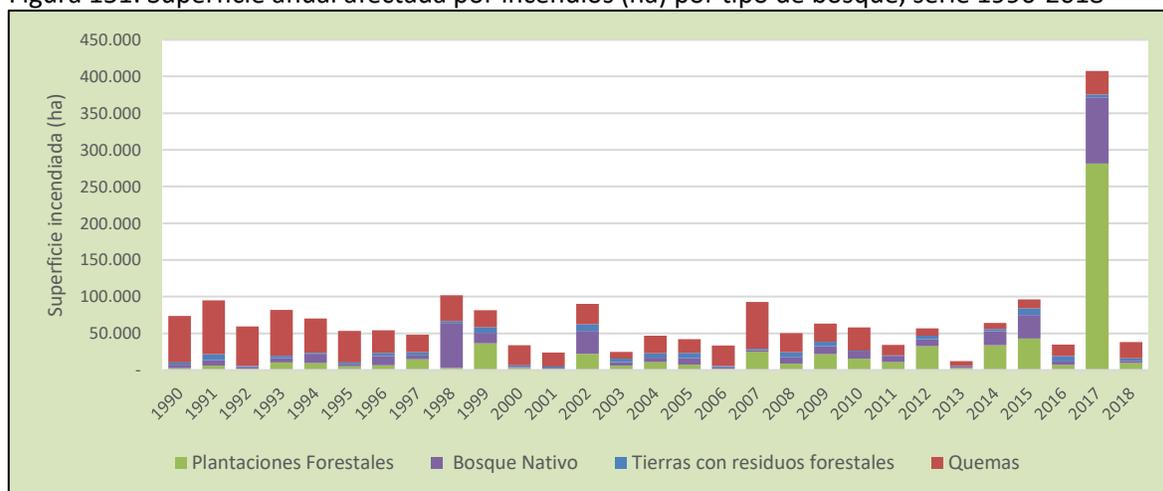
Nota: Las cifras de consumo de leña (en miles de toneladas), del Balance de Energía (CNE), han sido transformadas a miles de m³, según antecedentes aportados por el estudio de INFOR (1994), el cual indica que la proporción de leña en el total “leña y sus derivados” es de un 73,7 %.

* Proyección de consumo de leña para 2011 a 2018 (INFOR, 2019b)

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Superficie de Incendios forestales y quemas forestales: el dato estadístico es la superficie anual de incendios de bosque nativo, de plantaciones forestales y superficie de incendios en tierras forestales con residuos forestales (Gerencia Manejo del Fuego, CONAF) (Figura 151).

Figura 151. Superficie anual afectada por incendios (ha) por tipo de bosque, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.4.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de categoría, para el 2018, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 332.

Tabla 332. 4.A.1. Tierras forestales: resumen de la incertidumbre combinada, 2016

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|--------------|---|------------------|---|------|---------------------------------------|------|-------------------------|------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 4.A.1.a.i.1. | Renovales | CO ₂ | 7% | 7% | 44% | 44% | 45% | 45% |
| 4.A.1.a.i.2. | Planes de manejo (Ley Bosque nativo) | CO ₂ | 32% | 32% | 44% | 44% | 55% | 55% |
| 4.A.1.a.i.3. | Parques y reservas nacionales | CO ₂ | 7% | 7% | 44% | 44% | 45% | 45% |
| 4.A.1.a.ii. | Plantaciones forestales | CO ₂ | 8% | 8% | 36% | 36% | 37% | 37% |
| 4.A.1.b.i | Cosecha | CO ₂ | 10% | 10% | 36% | 36% | 37% | 37% |
| 4.A.1.b.ii | Leña | CO ₂ | 2% | 2% | 28% | 28% | 28% | 28% |
| 4.A.1.b.iii. | Perturbaciones | CO ₂ | 15% | 15% | 31% | 31% | 34% | 34% |
| 4.A.1.b.iii. | Perturbaciones | CH ₄ | 15% | 15% | 85% | 85% | 86% | 86% |
| 4.A.1.b.iii. | Perturbaciones | N ₂ O | 15% | 15% | 71% | 71% | 72% | 72% |
| 4.A.1.b.iv. | Quema controlada de residuos forestales | CH ₄ | 15% | 15% | 107% | 107% | 108% | 108% |
| 4.A.1.b.iv. | Quema controlada de residuos forestales | N ₂ O | 15% | 15% | 90% | 90% | 91% | 91% |
| 4.A.1.c. | Tierras forestales con cambio de vegetación | CO ₂ | 14% | 14% | 29% | 29% | 32% | 32% |
| 4.A.2 | Tierras convertidas en tierras forestales | CO ₂ | 21% | 21% | 34% | 34% | 40% | 40% |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Los errores de estimación se buscaron en las fuentes de origen de los datos. En algunos casos, cuando no se pudo encontrar el error de estimación, este se calculó a partir de los datos originales o a partir de una recopilación de diferentes fuentes, como es el caso de la densidad de madera. Cuando no se pudo obtener el error de estimación de los datos país específicos se recurrió a los ejemplos de errores entregados por las *Directrices del IPCC de 2006* para datos de actividad estadísticos y paramétricos. Este es el caso de los valores de crecimiento y existencias de plantaciones forestales y de la superficie incendiada anualmente.

En el caso de bosque nativo, las incertidumbres mayores se encuentran asociadas a los factores de emisión, donde los más importantes son los factores de expansión de biomasa subterránea con valores de 40 % seguido por factores de expansión de biomasa aérea (18 %). En el caso de las plantaciones también los mayores valores están asociados a los factores de expansión de biomasa subterránea y aérea con valores de 30 % y 18 % respectivamente.

Los valores de crecimiento y volumen acumulado de plantaciones forestales donde *P. radiata* y *Eucalyptus* son preponderantes, son determinados empleando los simuladores de crecimiento de *P. radiata* y *Eucalyptus* (Insigne y Eucasim), los que no entregan errores de estimación. Los valores de crecimiento y volumen acumulado de las otras especies evaluadas en plantaciones forestales se obtuvieron a partir de la serie de inventario 1986-2006 y tampoco se encontraron errores de estimación.

6.4.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

6.4.6. Procedimiento de garantía y control de calidad

6.4.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de UTCUTS se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de UTCUTS. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*. Un resumen de las actividades de control de calidad se puede encontrar en el ANEXO 11.01.

6.4.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *UTCUTS*, el Equipo Técnico de UTCUTS ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de UTCUTS como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE,

correspondiente al libro de cálculo 2020_SGCC_4UTCUTS. Un resumen del estado de avance de cada recomendación se encuentra en el ANEXO 11.02.

6.4.6.3. Verificación

El procedimiento de verificación consistió en realizar comparaciones de los resultados obtenidos durante esta serie temporal y la anterior calculada. Gracias a ello se logró detectar diferencias y establecer inconsistencias entre los datos empleados. Además, se realizan comparaciones de los factores de emisión, específicamente crecimientos de plantaciones con la información proporcionada en las *Directrices del IPCC de 2006*, no existiendo diferencias significativas en el crecimiento de las plantaciones. En el caso particular de los bosques nativos de Chile, no existe información en estas guías que permita hacer comparaciones.

6.4.7. Recálculos

6.4.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría se realizaron mejoras en la gestión de los datos de actividad, y se desarrollaron factores de emisión país específicos con mayor detalle y el mayor impacto estuvo en cambios de los datos de actividad por la matriz de cambio de uso de la tierra. Esto llevó a realizar recálculos en las siguientes áreas:

Superficie de bosque nativo manejado

La superficie de bosque nativo manejado tuvo cambios de asignación de superficie por fase de crecimiento, según la información actualizada al 2018.

Fracción de biomasa perdida por perturbaciones

Se corrigió los valores de fracción de pérdida por perturbaciones tanto para plantaciones como para bosque nativo porque había un error de cálculo en los factores de acuerdo con la información original.

Superficie de incendios

Se corrigió la información de superficie de incendios de los años 1994 y 1998 de la serie temporal

Superficie de restitución y sustitución

La información de la matriz de cambio de uso de la tierra se actualizó para toda la serie temporal, provocando cambios en las superficies que están dentro de tierras forestales y que cambian de cobertura vegetal (restitución y sustitución)

Conversión a tierras forestales

La información de la matriz de cambio de uso de la tierra se actualizó para toda la serie temporal, provocando cambios en la superficie que se convierte a tierras forestales.

Leña

Se actualiza la información desde el año 2011 al 2016 ya que se cuenta con información más detallada para la información de consumo de leña.

Factor R de tierras de cultivo

Se revisó la información de biomasa de cultivos que se utiliza en las conversiones de tierras de cultivos a otras tierras y se estaba utilizando un factor R en forma errada y este ha sido eliminado

considerando sólo la información de biomasa de cultivos que indican las Directrices del IPCC de 2006, con esto disminuyen las emisiones de *tierras de cultivo* que se convierten a *tierras forestales*.

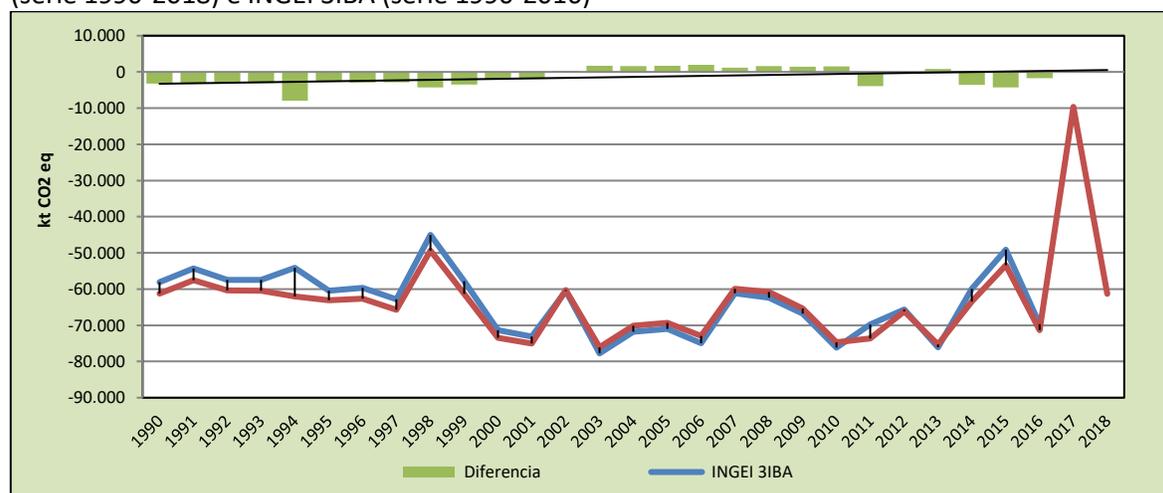
6.4.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 333 y Figura 152 se observa cómo variaron las emisiones de CO₂ de esta categoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe principalmente a los ajustes previamente descritos. Esto generó un aumento del balance de CO₂ (mayor capacidad de absorción) de la subcategoría en un promedio de -1.511,0 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2016.

Tabla 333. 4.A.1. Tierras forestales: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|----------|-----------|
| INGEI 3IBA | -58.049,6 | -71.325,9 | -76.160,8 | -76.076,4 | -69.646,6 | | |
| INGEI 4IBA | -61.251,5 | -73.421,7 | -74.661,9 | -75.282,5 | -71.367,8 | -9.650,9 | -61.344,3 |
| Diferencia | -3.201,9 | -2.095,7 | 1.498,9 | 793,9 | -1.721,1 | | |
| Diferencia % | 5,2% | 2,9% | -2,0% | -1,1% | 2,4% | | |

Figura 152. 4.A.1. Tierras forestales: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.4.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de UTCUTS y considerando las recomendaciones de la revisión del INGEI por parte del ERE en el 2019 sobre dar plazos a las mejoras consideradas en el sector. Se considera corto plazo 2 años lo que equivale a la siguiente actualización del INGEI, mediano plazo 6 a 8 años y largo plazo 20 años, se detallan las siguientes mejoras:

- Como se detalla en el capítulo de representación de tierras, se ha implementado un nuevo método que permite actualizar cada dos años los cambios de uso de la tierra, no obstante, en esta actualización no se cubrió todo el país, sólo de Coquimbo a Los Lagos. Como mejora, las regiones pendientes se implementarán en la próxima actualización del inventario de GEI, serie 1990-2020.
- Los bosques que se encuentran en áreas de conservación privadas no se han considerado en la contabilidad del inventario de GEI, ya que su cartografía todavía cuenta

con imprecisiones que no permiten reflejar de forma apropiada la superficie efectiva a proteger. Se requiere avanzar en mejorar la información cartográfica, para tener el detalle de las tierras forestales que se encuentran en estas áreas. Esto se considera una mejora que se puede realizar en el corto a mediano plazo, donde el Ministerio de Medio Ambiente debería tener un rol importante en su construcción por la labor que ha desarrollado en los temas de áreas de conservación privadas.

- Se requiere actualizar los factores de pérdida de biomasa en incendios forestales, ya que la información que se usa en la serie temporal fue levantada en los primeros inventarios por juicio experto. Este mejoramiento se abordará en el corto plazo, y se debería contar con información para la próxima actualización del INGEI, serie 1990-2020.
- Se requiere avanzar en el mejoramiento de los datos de actividad de los planes de manejo ejecutados en el país con información georreferenciada. CONAF se encuentra avanzando en este desarrollo y se espera que, en el mediano plazo, no superior a 6 años se pueda contar con esta información. No obstante, en la medida que se reporten avances, estos se implementarán en forma inmediata en el INGEI.
- Es importante generar e incorporar información de carbono del suelo país-específico para avanzar a un Nivel 2, este mejoramiento depende de los trabajos de investigación que se hagan en el país, y se espera contar con información en el mediano a largo plazo ya que se requieren esfuerzos para representar la diversidad de tierras forestales.
- Del mismo modo, es importante avanzar en la generación de información de carbono en la hojarasca tanto para bosque nativo como para bosques plantados, también este mejoramiento depende de los trabajos científicos que se desarrollen en el país, y se espera que en el mediano a largo plazo se pueda contar con esta información.
- En el mediano a largo plazo se requiere generar información de la dinámica de bosques, para conocer en detalle el ciclo del carbono entre los distintos depósitos (biomasa aérea, radicular, DOM y carbono del suelo) para los bosques que se consideran en las *Tierras Forestales*, ya que es una categoría principal dentro del INGEI.
- En el mediano plazo se debe generar información de la biomasa de matorrales arborescentes, que constituyen parte del bosque nativo, esta actividad también depende de los trabajos científicos que se generen en el país.
- Es importante avanzar en determinar la cantidad de biomasa de las tierras que se convierten a tierras forestales, ya que se está usando información por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* y esta subcategoría es en una categoría principal, por lo tanto, hay que avanzar en generar información país-específico, especialmente para la biomasa de cultivos y de pastizales que se convierten a *Tierras forestales*. Este mejoramiento, requiere un desarrollo en el país que se podría realizar en el mediano a largo plazo y depende de investigaciones que representen las distintas situaciones geográficas que existen en Chile para estas conversiones.

6.5. Tierras de cultivo (4.B.)

6.5.1. Descripción de la categoría

De acuerdo con la definición de CONAF, las tierras de cultivo en el país corresponden a zonas actualmente destinadas a la producción agropecuaria, incluyendo cereales, horticultura, fruticultura y ganadería. Las tierras de cultivo alcanzan una superficie de 3.138.674 ha en el año 2018, y han disminuido desde 1990 en 13,4 %.

Según las *Directrices del IPCC de 2006*, la cantidad de carbono almacenado en las tierras de cultivo permanentes, así como la emitida o absorbida, depende del tipo de cultivo, de las prácticas de gestión y del suelo y clima. Por ejemplo, los cultivos anuales (cereales, legumbres) se cosechan todos los años, por lo que no hay un almacenamiento de largo plazo del carbono en la biomasa. En cambio, la vegetación leñosa perenne de los huertos, viñas y sistemas agroforestales, puede implicar depósitos de carbono en biomasa de larga vida, donde la cantidad depende del tipo de especies a cultivar, la densidad, las tasas de crecimiento y las prácticas de cosecha y poda.

Esta categoría incluye las emisiones y absorciones de CO₂ que se generan por cambios en la biomasa y las emisiones no-CO₂ de incendios en *tierras de cultivo que permanecen como tales*, donde se consideran a las tierras de cultivo que no se han sometido a ninguna conversión en su uso durante un período de al menos 20 años y se incluyen las emisiones y absorciones de CO₂ generadas por cambios en la biomasa, materia orgánica muerta y carbono en el suelo en *Tierras convertidas a tierras de cultivo*, y que son tierras que se han convertido a *Tierras de cultivo* y tienen un período menor a 20 años en esta subcategoría.

6.5.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, el balance de GEI en *Tierras de cultivo* contabilizó una emisión de 995,0 kt CO₂ eq, aumentando en un 114,5 % desde 1990 y disminuyendo en un 3,0 % desde 2016 (Tabla 334). Las principales causantes de la tendencia de la categoría son las emisiones de las conversiones de tierras a tierras de cultivo, donde contribuyen principalmente las conversiones de tierras forestales y pastizales.

Tabla 334. 4.B. Tierras de cultivo: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018.

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| 4.B.1. Tierras de cultivo que permanecen como tales | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,9 | 16,0 | 0,6 |
| 4.B.2 Tierras convertidas en tierras de cultivo | 463,5 | 915,1 | 1.460,2 | 1.453,5 | 1.024,7 | 1.019,4 | 994,4 |
| Balance | 463,9 | 915,3 | 1.460,4 | 1.453,7 | 1.025,6 | 1.035,4 | 995,0 |

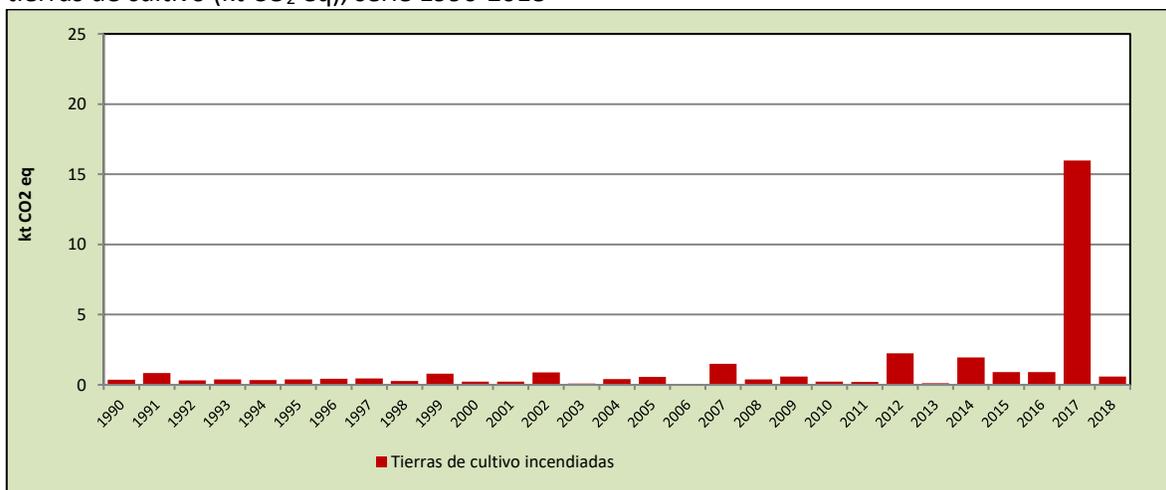
Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Para el caso de las tierras de cultivo que permanecen como tales, se contabilizan las emisiones no-CO₂ que corresponden a incendios en tierras de cultivo. En 2018 el balance de GEI de esta subcategoría contabilizó 0,6 kt CO₂ eq, aumentando en 63,9 % desde 1990 y disminuyendo en 36,2 % desde 2016 (Tabla 335 y Figura 153). Se observa una variabilidad en la serie temporal que se relaciona directamente con la variabilidad de ocurrencia de incendios en el país, donde el año 2017 se presentó una importante superficie de incendios en tierras de cultivo y como consecuencia una mayor emisión de gases no-CO₂ en esos años.

Tabla 335. 4.B.1. Tierras de cultivo que permanecen como tales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|
| Tierras de cultivo incendiadas | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,9 | 16,0 | 0,6 |
| Balance | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,9 | 16,0 | 0,6 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 153. 4.B.1. Tierras de cultivo que permanecen como tales: emisiones no CO₂ de incendios en tierras de cultivo (kt CO₂ eq), serie 1990-2018

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

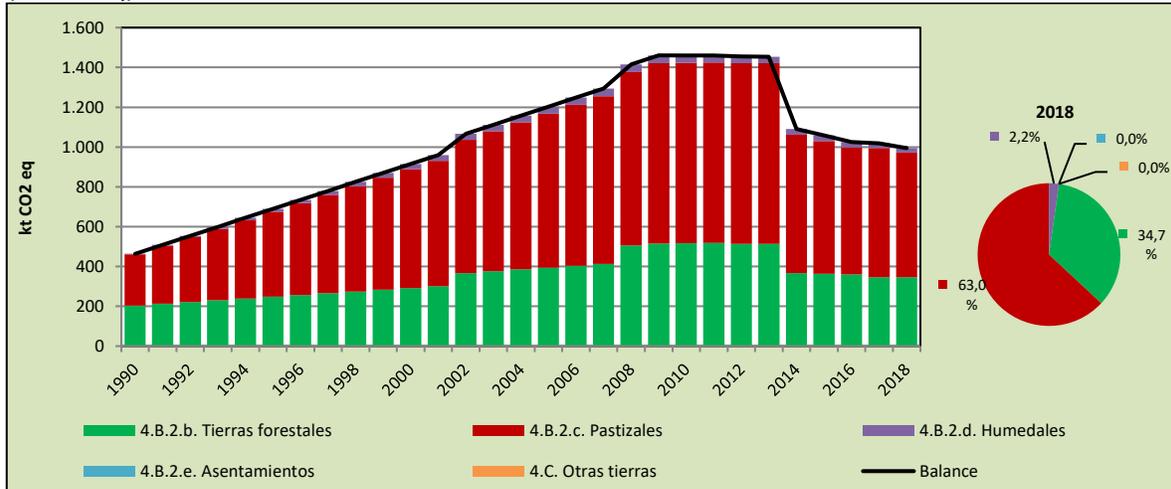
Para el caso de las tierras convertidas en tierras de cultivo, en 2018, el balance de CO₂ de esta subcategoría contabilizó 994,4 kt CO₂ eq, aumentando en un 114,5 % desde 1990 y disminuyendo en un 3,0 % desde 2016 (Tabla 336 y Figura 154). Respecto de las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos, los *Pastizales* convertidos a *Tierras de cultivo* son las de mayor aporte en las emisiones con un 63,0 % seguido por las *Tierras forestales* con un 34,7 % y finalmente los *Humedales* con un 2,2 %. Esta tendencia se relaciona directamente con los resultados de la superficie de cambio de uso de la tierra.

Tabla 336. 4.B.2. Tierras convertidas en tierras de cultivo: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Subcomponente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------------|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| 4.B.2.a. Tierras forestales | 204,4 | 292,3 | 516,8 | 513,6 | 360,6 | 345,4 | 345,2 |
| 4.B.2.b. Pastizales | 256,7 | 596,3 | 905,9 | 907,9 | 638,0 | 649,8 | 627,0 |
| 4.B.2.c. Humedales | 2,4 | 26,6 | 37,6 | 32,0 | 26,1 | 24,2 | 22,3 |
| 4.B.2.d. Asentamientos | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4.B.2.e. Otras tierras | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Balance | 463,5 | 915,1 | 1.460,2 | 1.453,5 | 1.024,7 | 1.019,4 | 994,4 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

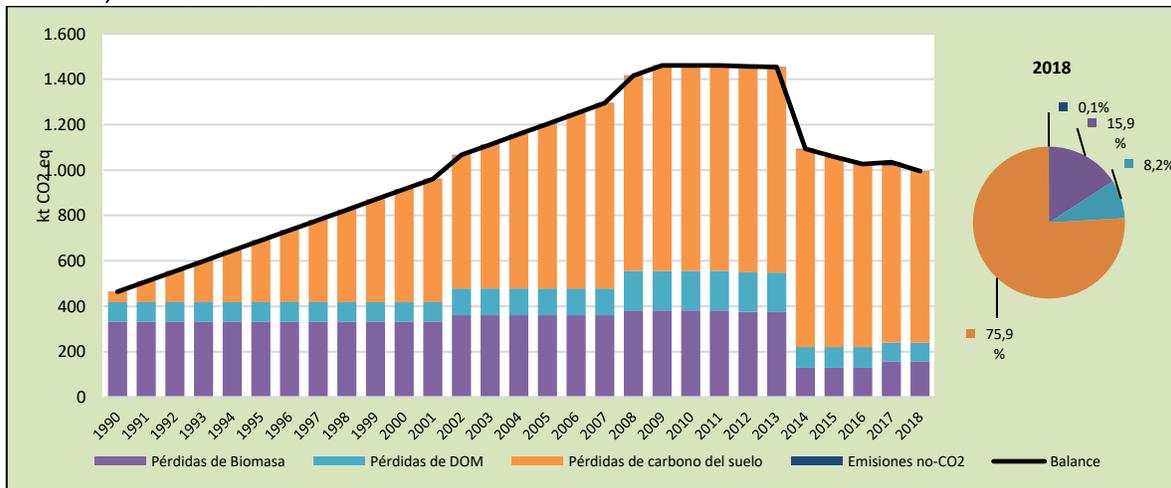
Figura 154. 4.B.2. Tierras convertidas en tierras de cultivo: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Las conversiones de tierras a *Tierras de cultivo* tienen un efecto directo en los cambios en los depósitos de carbono (Figura 155), donde las pérdidas de carbono de suelo tienen la mayor importancia, alcanzando en el 2018 una participación del 75,9 % en el total de emisiones, seguido por las pérdidas de biomasa que alcanzan un 15,9 %, luego las pérdidas de carbono de la materia orgánica muerta que alcanzan un 8,2% y finalmente las emisiones no-CO₂ que llegan al 0,1 %. Las pérdidas de carbono del suelo provienen del cambio tanto de *tierras forestales* como de *pastizales*, que al convertirse en *tierras de cultivo* tienen una pérdida de carbono asociado al manejo del suelo, las pérdidas de biomasa y de materia orgánica muerta son exclusivamente de las pérdidas por conversión de *tierras forestales* en *tierras de cultivo*.

Figura 155. 4.B. Tierras de cultivo: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por depósito de carbono, serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.5.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones y absorciones de GEI de la categoría *Tierras de cultivo* se aplicaron el método Nivel 1 para *Tierras de cultivo que permanecen como tales* y una combinación del método Nivel 1 y Nivel 2 para *Tierras convertidas en tierras de cultivo*. El método Nivel 2 proviene de las estimaciones realizadas para las *Tierras forestales*. Ambos métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. En la Tabla 337 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 337. 4.B. Tierras de cultivos: métodos aplicados por subcategoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 4.B.2.a. Tierras de cultivo que permanecen como tales | T1 | D, CS | T1 | D | T1 | D |
| 4.B.2.b. Tierras convertidas en tierras de cultivo | T1, T2, NO | D,CS, NO | NO | NO | NO | NO |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta categoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.5.3.1. Biomasa

6.5.3.1.1. Método

Tierras de cultivo que permanecen como tales

Se trabaja con información de criterio experto que se levantó en la actualización del INGEI 1990-2010, generando información de la tasa de crecimiento anual para distintos tipos de frutales. De acuerdo con esto se asume que las pérdidas anuales de materia seca por efectos del manejo que se hace a los huertos (podas y limpiezas) es equivalente al crecimiento anual en biomasa, así se evita sobreestimar las absorciones bajo este concepto. Se requiere avanzar con información país específica para mejorar estas estimaciones.

Tierras convertidas en tierras de cultivo

Para el caso de las tierras que se convierten a tierras de cultivo, se consideró la cantidad de biomasa que se corta o extrae de los distintos usos de la tierra, utilizando los valores paramétricos que corresponden a cada categoría específica, y bajo un método de nivel 1 se consideró que la biomasa inmediatamente después de la corta tiene un valor de cero, debido a que la tierra se limpia completamente antes de establecer un cultivo.

Emisiones no-CO₂

Las emisiones no-CO₂ son aquellas provenientes de los incendios en tierras cultivadas por lo que se utiliza lo descrito en la sección 6.4.3.1.1.

6.5.3.1.2. Datos paramétricos

Para establecer la biomasa de frutales que crece y se pierde anualmente con actividades de formación y producción del huerto frutal, se utiliza la información establecida por juicio experto en la serie temporal 1990-2012 del INGEI (Tabla 338).

Tabla 338. 4.B.1 Tierras de cultivos que permanecen como tales: tasa de crecimiento y pérdida anual de frutales.

| Tipos de frutales | Especie | Tasa de crecimiento y pérdida anual (tMS/ha) |
|--------------------------------|---------------------------|--|
| Frutales mayores caducifolios | Almendro | 0,56 |
| | Cerezo | 0,24 |
| | Ciruelo Europeo | 1,15 |
| | Ciruelo Japonés | 1,53 |
| | Duraznero Consumo Fresco | 1,67 |
| | Duraznero Tipo Conservero | 1,26 |
| | Kiwi | 0,45 |
| | Manzano Rojo | 0,28 |
| | Manzano verde | 0,40 |
| | Nectarino | 1,79 |
| | Nogal | 0,43 |
| | Peral | 0,17 |
| Frutales mayores perennifolios | Limonero | 0,25 |
| | Naranja | 0,20 |
| | Olivo | 0,48 |
| | Palto | 0,17 |
| Frutales menores | Arándano americano | 0,16 |
| | Avellano | 0,32 |
| | Frambuesa | 0,37 |
| Viñas y Parronales | Vid de mesa | 0,55 |
| | Vid pisquera | 0,34 |
| | Vid vinífera | 0,58 |

Fuente: Juicio experto usado en INGEI 1990-2010

Para determinar las emisiones no-CO₂, se considera la información de stock de biomasa que reporta las *Directrices del IPCC de 2006* y un factor de biomasa incendiada establecida por criterio experto en inventarios anteriores (Tabla 339).

Tabla 339. 4.B.1. Tierras de cultivo que permanecen como tales: Datos paramétricos para la determinación de emisiones no-CO₂ de incendios

| Tierra | Biomasa aérea (t/ha) | Factor de biomasa incendiada | Biomasa total incendiada (t/ha/año) |
|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Tierras de cultivo | 10,0 | 0,7 | 7,0 |

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Tabla 5.9 y Factor biomasa incendiada juicio experto

6.5.3.2. Materia Orgánica Muerta

6.5.3.2.1. Método

Tierras de cultivo que permanecen como tal

Se consideró el método nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* donde la madera muerta y la hojarasca no están presentes en las tierras de cultivo, o en aquellas tierras destinadas a la agroforestería, y este depósito de carbono se encuentra en equilibrio.

Tierras convertidas en tierras de cultivo

Para el caso de las tierras convertidas en tierras de cultivo se consideró la aplicación del método de nivel 1, donde toda la materia orgánica de las tierras convertidas se emite en el año de la conversión y que no queda materia orgánica muerta en las tierras convertidas.

6.5.3.2.2. Datos paramétricos

Los valores de materia orgánica muerta corresponden a los datos paramétricos de cada categoría en dicho depósito de carbono.

6.5.3.3. Carbono del suelo**6.5.3.3.1. Método****Tierras de cultivo que permanecen como tales**

Debido a que no existe suficiente información que permita determinar los cambios de cultivos que pueden existir dentro de las tierras de cultivo, se considera que el carbono del suelo no presenta cambios dentro de las tierras de cultivo.

Tierras convertidas en tierras de cultivo

Para el caso de tierras convertidas en tierras de cultivo se considera la aplicación de la Ecuación 32, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.5.3.3.2. Datos paramétricos

Se toman los valores de referencia para el carbono del suelo que entrega *Directrices del IPCC de 2006* adaptados al país y para el caso de las tierras de cultivo se consideran los factores de cambio de acuerdo con la Tabla 340, establecidos por criterio experto.

Tabla 340. 4.B.2. Tierras convertidas a tierras de cultivo: Datos paramétricos para determinar carbono del suelo

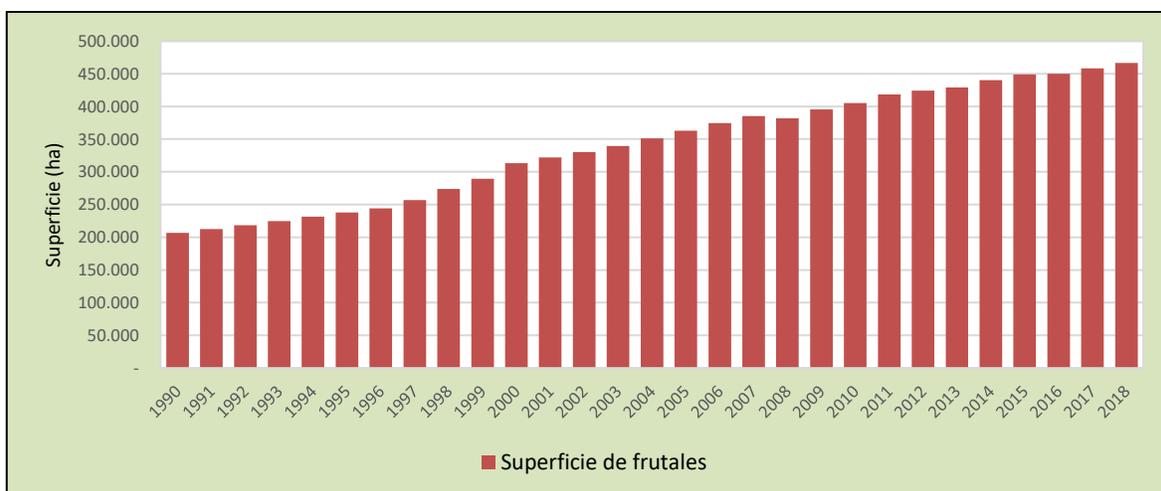
| Tipos de Usos/vegetación | Regiones | FLU | FMG | FI |
|--------------------------|-----------|------|-----|----|
| Cultivos | ARI a MAU | 0,8 | 1 | 1 |
| Cultivos | ÑUB a MAG | 0,69 | 1 | 1 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.5.3.4. Datos de actividad estadísticos**Superficie de frutales**

Se cuenta con información de la superficie de frutales (Figura 156) que proviene del Censo Agropecuario y Forestal que se ha levantado en los años 1997 y 2007 e información actualizada en algunas regiones publicadas en los boletines de ODEPA. Los años intermedios se completan con interpolaciones e información complementaria de estadísticas del país.

Figura 156. 4.B.1. Tierras de cultivo que permanecen como tal: superficie de frutales (ha), serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Superficie de incendios en tierras de cultivo

La información de superficie de tierras agrícolas afectada por incendios proviene de la Gerencia Manejo del Fuego (CONAF). La información sobre superficie agrícola incendiada viene diferenciada entre 2003 y 2018, sin embargo, en la serie 1990-2002 los datos no segregan entre la categoría superficie agrícola y la categoría superficie con desechos. Por este motivo, se estimó la superficie de suelos agrícolas afectada por incendios en base a una desagregación regional, obtenida mediante un factor de superficie agrícola incendiada que fue calculado a partir de los años que contaban con esta información diferenciada. La Figura 157 presenta los valores de superficie anual incendiada en tierras de cultivo, se puede ver la fluctuación de los datos que depende directamente de años con mayor cantidad de incendios.

Figura 157. 4.B.1. Tierras de cultivos que permanecen como tales: superficie anual de tierras cultivadas incendiadas (ha), serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.5.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta categoría, para el 2018, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 341.

Tabla 341. 4.B. Tierras de cultivo: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--|------------------|---|------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 4.B.1. | Tierras de cultivo que permanecen como tales | CH ₄ | 15 % | 15 % | 128 % | 128 % | 129 % | 129 % |
| 4.B.1. | Tierras de cultivo que permanecen como tales | N ₂ O | 15 % | 15 % | 139 % | 139 % | 139 % | 139 % |
| 4.B.2. | Tierras convertidas en tierras de cultivo | CO ₂ | 21% | 21% | 55 % | 55 % | 59 % | 59 % |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

6.5.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

6.5.6. Procedimiento de garantía y control de calidad

6.5.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de UTCUTS se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de UTCUTS. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*. Un resumen de las actividades de control de calidad se puede encontrar en el ANEXO 11.01.

6.5.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *UTCUTS*, el Equipo Técnico de UTCUTS ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de UTCUTS como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*. Un resumen del estado de avance de cada recomendación se encuentra en el ANEXO 11.02.

6.5.6.3. Verificación

El procedimiento de verificación consistió en realizar comparaciones de los resultados obtenidos durante esta serie temporal y la anterior calculada. Gracias a ello se logró detectar diferencias y establecer inconsistencias entre los datos empleados.

Por el momento no se cuenta con datos de otras fuentes (nacionales o internacionales) con los cuales se pueda comparar los resultados.

6.5.7. Recálculos

6.5.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Superficie de tierras convertidas a tierras de cultivo

La matriz de cambio de uso de la tierra fue modificada para la serie temporal y esto generó cambios en la superficie que fue convertida a tierras de cultivo.

Factor R de biomasa

Se revisó la información de biomasa de cultivos que para considerar la biomasa incendiada y se estaba utilizando un factor R (biomasa radicular) en forma errada y este ha sido eliminado considerando sólo la información de biomasa de cultivos que indican las Directrices del IPCC de 2006, con esto disminuyen las emisiones de *Tierras de cultivo que permanecen como tales*.

6.5.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

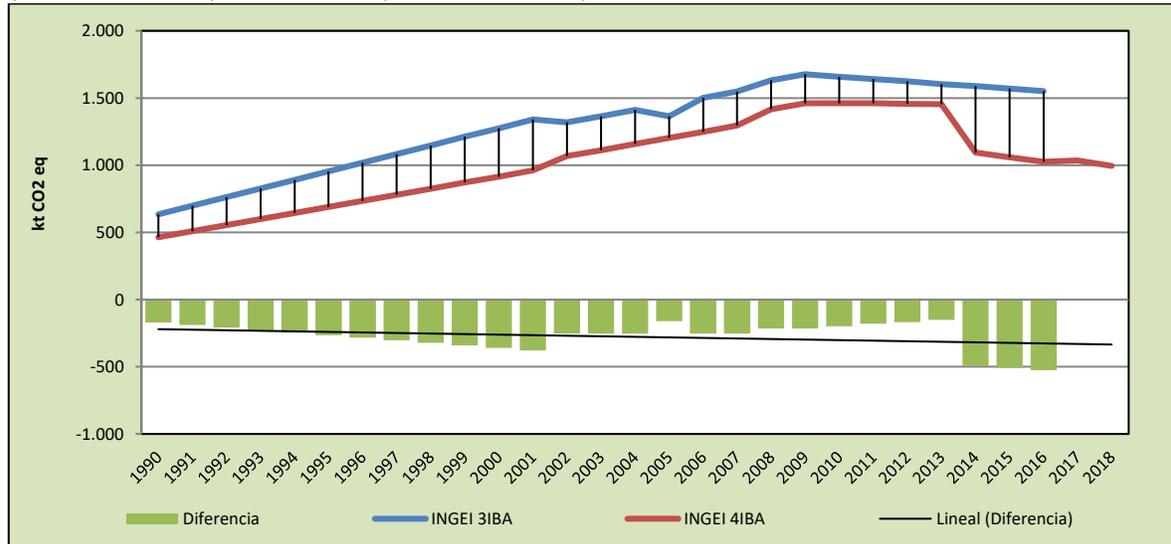
En la Tabla 342 y Figura 158 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe al cambio de superficie de conversión de tierras a tierras de cultivo. Esto generó, en suma, una disminución de las emisiones GEI de la categoría en un promedio de 273,3 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2016.

Tabla 342. 4.B. Tierras de cultivo: comparación entre el balance de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------|-------|
| INGEI 3IBA | 634,4 | 1.275,2 | 1.658,4 | 1.604,1 | 1.551,0 | | |
| INGEI 4IBA | 463,9 | 915,3 | 1.460,4 | 1.453,7 | 1.025,6 | 1.035,4 | 995,0 |
| Diferencia | -170,5 | -359,9 | -197,9 | -150,5 | -525,3 | | |
| Diferencia % | -36,8% | -39,3% | -13,6% | -10,4% | -51,2% | | |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 158. 4.B. Tierras de cultivo: comparación entre el balance de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.5.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de UTCUTS y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Es importante considerar la actualización de los factores de emisión en los frutales, ya que, de acuerdo con criterio experto, actualmente las ganancias y pérdidas de biomasa se encuentran en balance cero. Si bien, las *Tierras de cultivo* no son una categoría principal del INGEI, es importante avanzar en el desarrollo de estos factores de emisión, debido al aumento de superficie de frutales en la serie temporal. Se espera avanzar en este mejoramiento en un corto a mediano plazo y dependerá de la existencia de información país y posibles nuevos trabajos de investigación que se realicen.
- Avanzar en el levantamiento de información país-específico de contenido de carbono del suelo considerando los distintos tipos de gestión p.e., agricultura orgánica, siembra directa, uso de fertilizantes orgánicos u otros. Esta mejora se espera implementar en el mediano a largo plazo ya que depende de los trabajos de investigación que se desarrollen en el país.

6.6. Pastizales (4.C.)

6.6.1. Descripción de la categoría

En el país se considera el uso de la tierra *Pastizales* como el área de praderas y matorrales, y se refiere a formaciones herbáceas, suculentas, arbustivas y arbustivo-herbáceas. Se subdividen de acuerdo con el tipo biológico preponderante (pastos o arbustos) y sus especies dominantes. En 2018 se cuenta con una superficie de 21.182.734 ha (CONAF, 2019) y ha disminuido desde 1990 en 4,1%.

Esta categoría incluye las emisiones no-CO₂ de incendios en *Pastizales que permanecen como tales*, donde se consideran a los Pastizales que no se han sometido a ninguna conversión en su uso durante un período de al menos 20 años y se incluyen las emisiones y absorciones de CO₂ generadas por cambios en la biomasa, materia orgánica muerta y carbono en el suelo en *Tierras convertidas a Pastizales*, y que son tierras que se han convertido a *Pastizales* y tienen un período menor a 20 años en esta subcategoría.

6.6.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, el balance de GEI contabilizó una emisión de 3.303,7 kt CO₂ eq. Las emisiones han disminuido en 20 % desde 1990 y han aumentado en 38 % desde 2016 (Tabla 343).

Tabla 343. 4.C. Pastizales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018.

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 4.C.1. Pastizales que permanecen como tales | 2,45 | 1,77 | 5,21 | 2,05 | 4,25 | 27,99 | 4,22 |
| 4.C.2. Tierras convertidas en pastizales | 4.131,0 | 3.871,9 | 1.629,0 | 1.657,1 | 2.393,1 | 3.302,7 | 3.303,5 |
| Balance | 4.133,4 | 3.873,7 | 1.634,2 | 1.659,1 | 2.397,4 | 3.330,7 | 3.307,7 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Para el caso de las tierras de pastizales que permanecen como tales, se contabilizan las emisiones no-CO₂ que corresponden a incendios que ocurren en esta categoría. En 2018, el balance de GEI de esta subcategoría contabilizó 4,2 kt CO₂ eq, aumentando en 72,3 % desde 1990 y disminuyendo en un 0,6 % desde 2016 (Tabla 344 y Figura 159

). Se observa una variabilidad en la serie temporal que se relaciona directamente con la variabilidad de ocurrencia de incendios en el país, donde el año 2017 se presentó una importante superficie de incendios en tierras de pastizales y como consecuencia una mayor emisión de gases no-CO₂ en esos años.

Tabla 344. 4.C.1. Pastizales que permanecen como tales: emisiones no-CO₂ de incendios (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Subcomponente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|
| Pastizales incendiados | 2,5 | 1,8 | 5,2 | 2,1 | 4,3 | 28,0 | 4,2 |
| Balance | 2,5 | 1,8 | 5,2 | 2,1 | 4,3 | 28,0 | 4,2 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 159. 4.C.1. Pastizales que permanecen como tales: emisiones no-CO₂ de incendios (kt CO₂ eq), serie 1990-2018

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Las tierras convertidas a pastizales son las más importantes en términos de emisiones, en 2018, el balance de CO₂ de esta subcategoría contabilizó 3.303,5 kt CO₂ eq, disminuyendo en 20,03 % desde 1990 y aumentando en un 38,0 % desde 2016 (Tabla 345 y Figura 160). Respecto de las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos, las *Tierras forestales* convertidas a tierras de pastizales son las de mayor aporte en las emisiones con un 96,0 % seguido por las *Tierras de cultivo* con un 4,0 %.

Tabla 345. 4.C.2. Tierras convertidas en pastizales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Subcomponente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 4.C.2.a. Tierras forestales | 4.009,7 | 4.009,7 | 1.992,5 | 1.992,3 | 2.561,3 | 3.445,3 | 3.445,3 |
| 4.C.2.b. Tierras de cultivo | 121,3 | -137,8 | -363,5 | -335,2 | -168,1 | -142,6 | -141,8 |
| 4.C.2.c. Humedales | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4.C.2.d. Asentamientos | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4.C.2.e. Otras tierras | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Balance | 4.131,0 | 3.871,9 | 1.629,0 | 1.657,1 | 2.393,1 | 3.302,7 | 3.303,5 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

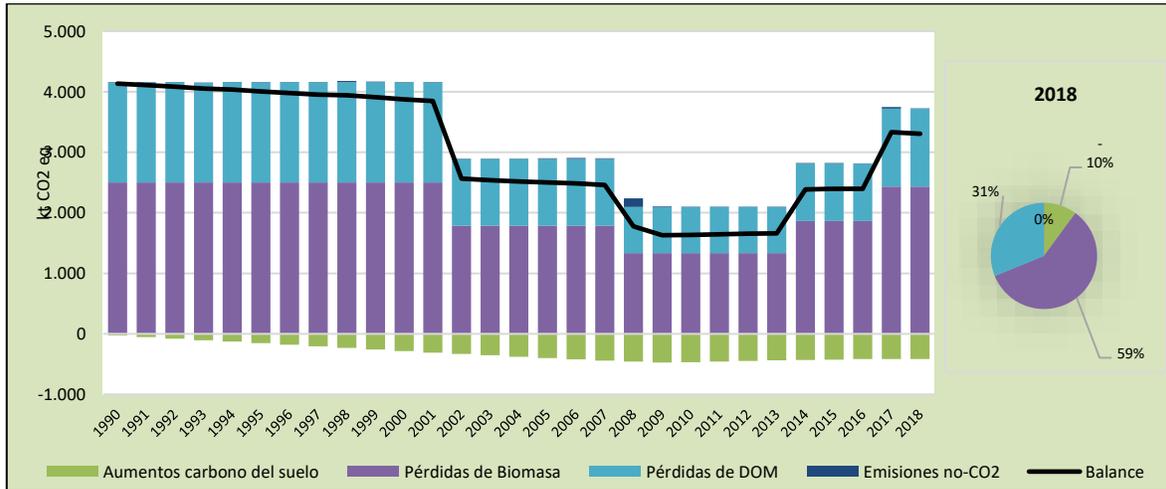
Figura 160. 4.C.2. Tierras convertidas en pastizales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El impacto de las conversiones de tierras a pastizales se refleja en los depósitos de carbono (Figura 161), en el 2018, la pérdida de biomasa alcanza un 58,8 %, seguido por las pérdidas de materia orgánica muerta con un 31,1%, y los aumentos de carbono del suelo con un 10,1 %, mientras que las emisiones no-CO₂ alcanzan un 0,1%. Las pérdidas de carbono de la biomasa y de la materia orgánica muerta provienen del cambio de tierras forestales a pastizales, también existe un aumento del depósito de carbono del suelo, que se debe al cambio de tierras de cultivo a pastizales.

Figura 161. 4.C. Pastizales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por depósito de carbono, serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.6.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones y absorciones de CO₂ de la categoría *Pastizales* se aplicó método Nivel 1 y Nivel 2 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. El método Nivel 2 se aplica en las

estimaciones realizadas para las *Tierras forestales en Tierras convertidas en pastizales*. En la Tabla 346 observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 346. 4.C. Pastizales: métodos aplicados por subcategoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 4.C.1. Pastizales que permanecen como tal | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 4.C.2. Tierras convertidas en Pastizales | T1, T2, NO | D, CS, NO | T1, T2 | D, CS | T1, T2 | D, CS |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.6.3.1. Biomasa

6.6.3.1.1. Método

Para el caso de los *Pastizales que permanecen como tales* se aplica el método de Nivel 1 en el cual se supone que no hay cambios en la biomasa. En los pastizales en los que no hay cambios ni en el tipo ni en la intensidad de la gestión, la biomasa estará en un régimen más o menos constante (esto es, la acumulación de carbono debida al crecimiento vegetal se equilibra con las pérdidas debidas al pastoreo, la descomposición, y el fuego). Para efectos de la elaboración del INGEI existe una carencia de valores país o región específicos respecto de depósitos de carbono en la biomasa aérea y subterránea de pastizales, especialmente en lo que se refiere a biomasa aérea y subterránea de los pastizales, que permitan avanzar a una metodología de nivel superior.

Las emisiones que considera esta subcategoría son las emisiones de no-CO₂ provenientes de los incendios en pastizales, por lo que se utiliza lo descrito en la sección 6.4.3.1.1.

Para el caso de las tierras que se convierten a pastizales, se consideró la cantidad de biomasa que se corta o extrae de los distintos tipos de tierras, utilizando los valores paramétricos que corresponden a cada categoría de tierras, y bajo un método de nivel 1 se supone que se pierde toda la biomasa del ecosistema anterior, justo después de la conversión, incluso si no hay un cambio abrupto, y se supone que la biomasa residual ($B_{\text{DESPUÉS}}$) es, por lo tanto, cero (es decir, se elimina toda la vegetación de la tierra antes de que se establezca la vegetación del pastizal). Además, se supone que los pastizales alcanzan su biomasa de régimen constante durante el primer año posterior a la conversión.

6.6.3.1.2. Datos paramétricos

En cuanto a los datos requeridos se considera la información de stock de biomasa de pastizales que reporta las *Directrices del IPCC de 2006* diferenciada por zona climática para las regiones administrativas del país (Tabla 347).

Tabla 347. 4.C.1. Pastizales que permanecen como tal: datos paramétricos de biomasa de pastizales

| Región | Biomasa aérea (t/ha) | R | Biomasa aérea total (t/ha) |
|---|----------------------|-----|----------------------------|
| ARI-MAU(Warm temperate - Dry/table 6.4) | 1,6 | 2,8 | 6,1 |
| ÑUB-LAG (Warm temperate -Wet / Table 6.4) | 2,7 | 4,0 | 13,5 |
| AIS-MAG (Cold temperate-Wet/Table 6.4) | 2,4 | 4,0 | 12,0 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.6.3.2. Materia Orgánica Muerta

6.6.3.2.1. Método

Para los pastizales que permanecen como tal se consideró el método nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*, que supone que la materia muerta y los depósitos de hojarasca están en equilibrio, de modo que no es necesario estimar los cambios en las existencias de carbono para estos depósitos.

Para el caso de las tierras convertidas a pastizales se consideró la aplicación del método de nivel 1, donde toda la materia orgánica de las tierras convertidas se emite en el año de la conversión y que no queda materia orgánica muerta en las tierras convertidas.

6.6.3.2.2. Datos paramétricos

Los valores de materia orgánica muerta para el caso las tierras forestales convertidas a pastizales corresponden a los datos paramétricos informados en la sección de tierras forestales (Tabla 328 y Tabla 329).

6.6.3.3. Carbono del suelo

6.6.3.3.1. Método

Debido a que no existe suficiente información que permita determinar los cambios de pastizales que pueden existir dentro de la subcategoría de pastizales que permanecen como tales, se considera un método de nivel 1, donde el carbono del suelo no presenta cambios dentro de los pastizales.

Para el caso de tierras convertidas a pastizales se considera la aplicación de la Ecuación 32 (Ecuación 2.25 de las *Directrices del IPCC de 2006*, Volumen 4, Capítulo 2). Específicamente, las existencias iniciales (antes de la conversión) de carbono orgánico del suelo ($SOC_{(0-T)}$) y las existencias del último año del periodo de inventario (SOC_0) se contabilizan a partir de las existencias de referencia por defecto de C orgánico del suelo (SOC_{REF}) y los factores de cambio de existencias (F_{LU} , F_{MG} , F_I). Las tasas anuales de cambio de existencias se estiman basándose en la diferencia en las existencias (a través del tiempo) para el primer y el último año del periodo de inventario, dividido por la dependencia temporal de los factores de cambio de existencias (D , el valor por defecto es de 20 años).

6.6.3.3.2. Datos paramétricos

Se toman los valores de referencia para el carbono del suelo que entrega *Directrices del IPCC de 2006* adaptados al país, y para el caso de los pastizales se consideran los factores de cambio de acuerdo con la Tabla 348, establecidos por juicio experto.

Tabla 348. 4.C. Pastizales: Datos paramétricos para determinar carbono del suelo

| Tipos de Usos/vegetación | FLU | FMG | FI |
|--------------------------|-----|-----|----|
| Pastizales | 1 | 1 | 1 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.6.3.4. Datos de actividad estadísticos

Superficie de incendios en pastizales

La información de superficie de pastizales afectada por incendios forestales proviene de la Gerencia Manejo del Fuego (CONAF). La Figura 162 presenta los valores de superficie anual incendiada en pastizales diferenciada entre matorrales y pastizales, se puede ver la fluctuación de los datos que depende directamente de los años con mayor cantidad de incendios.

Figura 162. 4.C.1. Pastizales que permanecen como tales: superficie anual de pastizales incendiadas (ha), serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.6.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para cada componente. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 349.

Tabla 349. 4.B. Tierras de cultivo: resumen de la incertidumbre combinada, 2016

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------------------------|------------------|---|------|---------------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 4.C.1. | Pastizales que permanecen como tales | CH ₄ | 15 % | 15 % | 127 % | 127 % | 128 % | 128 % |
| 4.C.1. | Pastizales que permanecen como tales | N ₂ O | 15 % | 15 % | 138 % | 138 % | 139 % | 139 % |
| 4.C.2. | Tierras convertidas en pastizales | CO ₂ | 21 % | 21 % | 28 % | 28 % | 35 % | 35 % |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

6.6.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

6.6.6. Procedimiento de garantía y control de calidad

6.6.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de UTCUTS se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de UTCUTS. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*. Un resumen de las actividades de control de calidad se puede encontrar en el ANEXO 11.01.

6.6.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *UTCUTS*, el Equipo Técnico de UTCUTS ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de UTCUTS como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*. Un resumen del estado de avance de cada recomendación se encuentra en el ANEXO 11.02.

6.6.6.3. Verificación

El procedimiento de verificación consistió en realizar comparaciones de los resultados obtenidos durante esta serie temporal y la anterior calculada. Gracias a ello se logró detectar diferencias y establecer inconsistencias entre los datos empleados.

Por el momento no se cuenta con datos de otras fuentes (nacionales o internacionales) con los cuales se pueda comparar los resultados.

6.6.7. Recálculos

6.6.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Superficie de tierras convertidas a tierras de pastizales

La matriz de cambio de uso de la tierra fue modificada para la serie temporal y esto generó cambios en la superficie que se convierte a tierras de pastizales.

Factor R de tierras de cultivo

Se revisó la información de biomasa de cultivos que se utiliza en las conversiones de tierras de cultivos a otras tierras y se estaba utilizando un factor R en forma errada y este ha sido eliminado considerando sólo la información de biomasa de cultivos que indican las *Directrices del IPCC de 2006*, con esto disminuyen las emisiones de *tierras de cultivo* que se convierten a *pastizales*.

6.6.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

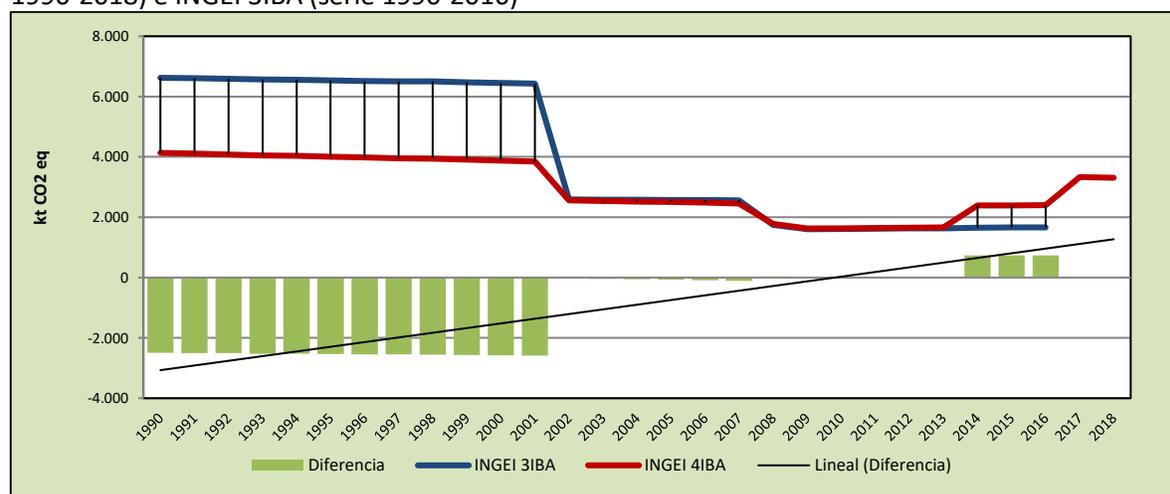
En la Tabla 350 y Figura 163 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe al cambio de superficie de conversión de tierras a pastizales. Esto generó una disminución de las emisiones GEI de la categoría en un promedio de 1.054,7 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2016.

Tabla 350. 4.C. Pastizales: comparación entre el balance de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| INGEI 3IBA | 6.623,1 | 6.447,9 | 1.609,0 | 1.634,6 | 1.665,5 | | |
| INGEI 4IBA | 4.133,4 | 3.873,7 | 1.634,2 | 1.659,1 | 2.397,4 | 3.330,7 | 3.307,7 |
| Diferencia | -2.489,7 | -2.574,2 | 25,1 | 24,6 | 731,9 | | |
| Diferencia % | -60,2% | -66,5% | 1,5% | 1,5% | 30,5% | | |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 163. 4.C. Pastizales: comparación entre el balance de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.6.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de UTCUTS y a las recomendaciones de la revisión experta del ING EI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Es necesario avanzar en la determinación del contenido de carbono del suelo ya que es un depósito importante que se ve alterado en las conversiones de uso de la tierra. Este mejoramiento se debería implementar en el mediano a largo plazo ya que requiere de investigaciones que se realicen en el país con levantamiento de datos en terreno.
- También es importante avanzar en la información tanto de datos de actividad como de factores de emisión de pastizales mejorados que podrían tener una diferenciación en el carbono respecto a otros pastizales. Esto se debería implementar en el mediano a largo plazo ya que requiere de investigaciones que se realicen en el país con levantamiento de datos en terreno.

6.7. Humedales (4.D.)

6.7.1. Descripción de la categoría

De acuerdo con la definición del país en humedales se consideran extensiones de marismas, pantanos y turberas o, en general, superficies cubiertas de agua, sean estas de caracteres naturales o artificiales, permanentes o temporales, estancados o corrientes, dulces, salobres o salados. Se incluyen las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de 6 metros. Además, se incluyen en esta categoría las vegas y bofedales debido a su hidromorfismo. También se incluyen los cuerpos de agua que son las zonas cubiertas por el mar, ríos, lagos, lagunas y embalses. La superficie de humedales llega a los 4.789.017 ha en el año 2018 disminuyendo en 0,4 % desde 1990 (CONAF, 2019).

Las *Directrices del IPCC de 2006* brindan orientación sobre cómo estimar y declarar las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por humedales gestionados considerando dos categorías, turberas y reservorios o embalses para la producción de energía, irrigación, navegación o recreación. No existe información suficiente de datos de actividad en el país para cuantificar las emisiones por gestión de turberas. Por lo que sólo se contabiliza las emisiones de CO₂ asociadas a los reservorios o embalses, específicamente para tierras convertidas en tierras inundadas.

6.7.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, el balance de GEI contabilizó una emisión de 3,6 kt CO₂ eq. Las emisiones han disminuido en 95,8 % desde 1990 y en 19,1 % desde 2016 (Tabla 351). Las tierras convertidas a humedales son las que generan emisiones por las pérdidas del depósito de carbono de la biomasa.

Tabla 351. 4.C. Humedales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018.

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| 4.D.1. Humedales que permanecen como tales | - | - | - | - | - | - | - |
| 4.D.2. Tierras convertidas en humedales | 84,7 | 84,7 | 42,9 | 42,9 | 4,4 | 3,6 | 3,6 |
| Balance | 84,7 | 84,7 | 42,9 | 42,9 | 4,4 | 3,6 | 3,6 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Para el caso de la subcategoría *Humedales que permanecen como tales* no se estiman emisiones. Para las *tierras convertidas a Humedales*, en 2018, el balance de CO₂ de esta subcategoría contabilizó 3,6 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 95,8 % desde 1990 y en un 20,1 % desde 2016 (Tabla 352 y Figura 164). Respecto de las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos, las *tierras forestales* convertidas a *humedales* son las de mayor aporte en las emisiones con un 68,0 % seguido por *Pastizales* con un 32 %. Esta tendencia en la serie temporal se relaciona directamente con los resultados de la superficie de cambio de uso de la tierra, donde las tierras forestales son la superficie con mayor cambio a humedales.

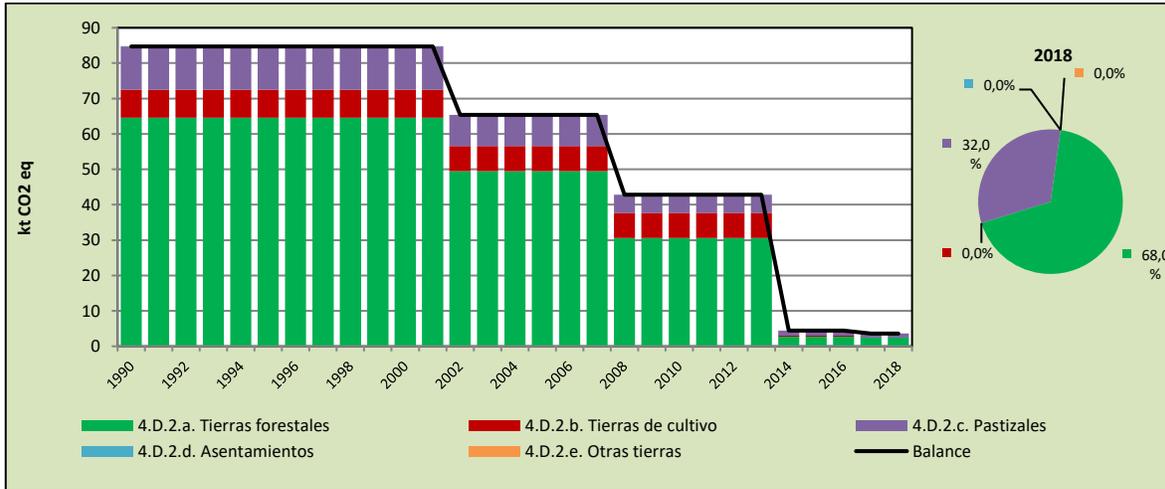
Tabla 352. 4.D.2. Tierras convertidas en humedales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Subcomponente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 4.D.2.a. Tierras forestales | 64,6 | 64,6 | 30,6 | 30,6 | 2,7 | 2,4 | 2,4 |
| 4.D.2.b. Tierras de cultivo | 7,9 | 7,9 | 7,1 | 7,1 | 0,3 | 0,0 | 0,0 |
| 4.D.2.c. Pastizales | 12,2 | 12,2 | 5,1 | 5,1 | 1,5 | 1,2 | 1,2 |

| | | | | | | | |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| 4.D.2.d. Asentamientos | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4.D.2.e. Otras tierras | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Balance | 84,7 | 84,7 | 42,9 | 42,9 | 4,4 | 3,6 | 3,6 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

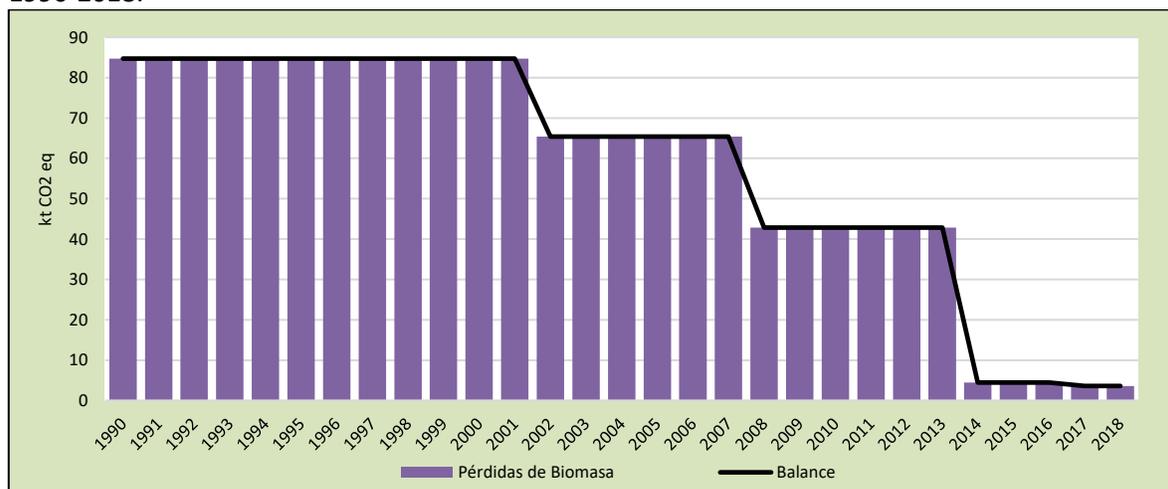
Figura 164. 4.D.2. Tierras convertidas en humedales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

En el caso de los depósitos de carbono, la pérdida de biomasa es afectada directamente por las conversiones de tierras a humedales (Figura 165). Las pérdidas de carbono de la biomasa en la serie temporal provienen principalmente del cambio de tierras forestales, seguidos por los pastizales y las tierras de cultivo que se convierten a humedales, no obstante, estas últimas ya no ocurren en los dos últimos años de la serie temporal.

Figura 165. 4.D. Humedales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.7.3. Aspectos metodológicos de la categoría

La metodología por defecto para *Tierras convertidas en tierras inundadas* ofrece orientación para la estimación de emisiones de CO₂ debidas a la inundación. Para la estimación de las emisiones de CO₂ de la categoría *Humedales* se aplicó una combinación del método Nivel 1 y Nivel 2 para *Tierras convertidas en humedales*. El método Nivel 2 proviene de las estimaciones realizadas para las *Tierras forestales*. Ambos métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. En la Tabla 353 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 353. 4.D. Humedales: métodos aplicados por subcategoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 4.D.1. Humedales que permanecen como tales | NE | NE | | | | |
| 4.D.2. Tierras convertidas en Humedales | T1, T2, NO | D, CS, NO | | | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta categoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.7.3.1. Biomasa

6.7.3.1.1. Método

Tierras convertidas a humedales

En el caso de *Humedales*, dado que solo se posee la superficie que cambia a humedales, se asumió que todo el carbono de la biomasa que existía previamente se emite como CO₂ en el año del cambio de uso, como se detalla en las *Directrices del IPCC de 2006*.

Para estimar las absorciones y emisiones de carbono, se utilizó el cambio anual en las existencias de carbono en la biomasa viva de tierras convertidas en tierras permanentemente inundadas (Ecuación

7.10; Capítulo 4; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*). Se asume que el carbono previo a la inundación se emite al año de la conversión.

6.7.3.1.2. Datos paramétricos

Para el caso de las tierras que se convierten a humedales, se consideró la cantidad de biomasa que se corta o extrae de los distintos tipos de tierras, utilizando los valores paramétricos que corresponden a cada categoría de tierras y bajo un método de nivel 1 se supone que se pierde toda la biomasa del ecosistema anterior justo después de la conversión. Los valores por defecto para la biomasa previos a la conversión pueden encontrarse en las categorías específicas de tierras.

6.7.3.2. Datos de actividad estadísticos

Los datos de actividad estadísticos provienen de la Matriz de cambio de usos de la tierra.

6.7.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 354.

Tabla 354. 4.D.2. Tierras convertidas en humedales: resumen de la incertidumbre combinada, 2016

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|----------------------------------|-----------------|---|------|---------------------------------------|------|-------------------------|------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 4.D.2 | Tierras convertidas en humedales | CO ₂ | 21 % | 21 % | 30 % | 30 % | 36 % | 36% |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

6.7.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

6.7.6. Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

6.7.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de UTCUTS se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de UTCUTS. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*. Un resumen de las actividades de control de calidad se puede encontrar en el ANEXO 11.01.

6.7.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *UTCUTS*, el Equipo Técnico de *UTCUTS* ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de *UTCUTS* como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*. Un resumen del estado de avance de cada recomendación se encuentra en el ANEXO 11.02.

6.7.6.3. Verificación

El procedimiento de verificación consistió en realizar comparaciones de los resultados obtenidos durante esta serie temporal y la anterior calculada. Gracias a ello se logró detectar diferencias y establecer inconsistencias entre los datos empleados.

Por el momento no se cuenta con datos de otras fuentes (nacionales o internacionales) con los cuales se pueda comparar los resultados.

6.7.7. Recálculos

6.7.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Superficie de tierras convertidas a humedales

La matriz de cambio de uso de la tierra fue modificada para la serie temporal y esto generó cambios en la superficie convertida humedales.

Factor R de tierras de cultivo

Se revisó la información de biomasa de cultivos que se utiliza en las conversiones de tierras de cultivos a otras tierras y se estaba utilizando un factor R en forma errada y este ha sido eliminado considerando sólo la información de biomasa de cultivos que indican las *Directrices del IPCC de 2006*, con esto disminuyen las emisiones de *tierras de cultivo* que se convierten a *humedales*.

6.7.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

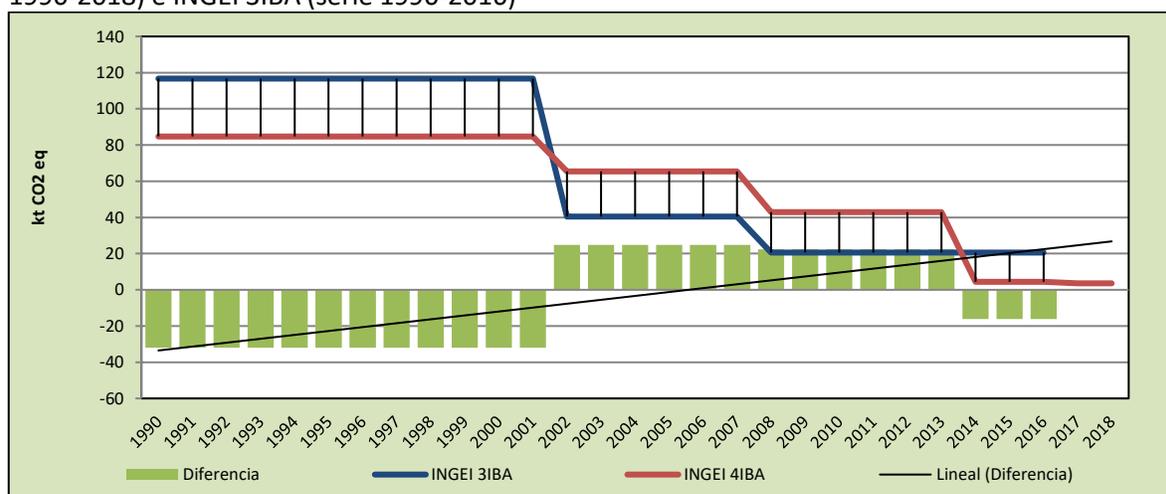
En la Tabla 355 y Figura 166 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe principalmente al cambio de superficie de conversión de tierras a humedales. Esto generó una disminución de las emisiones GEI de la categoría en un promedio de 4,2 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2016.

Tabla 355. 4.D. Humedales: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|----------------|---------------|---------------|
| INGEI 3IBA | 116,7 | 116,7 | 20,6 | 20,6 | 20,6 | | |
| INGEI 4IBA | 84,7 | 84,7 | 42,9 | 42,9 | 4,4 | 3,6 | 3,6 |
| Diferencia | -32,0 | -32,0 | 22,3 | 22,3 | -16,1 | 3,6 | 3,6 |
| Diferencia % | -37,8% | -37,8% | 52,0% | 52,0% | -362,9% | 100,0% | 100,0% |

Fuente: Equipo Técnico de *UTCUTS* del MINAGRI

Figura 166. 4.D. Humedales: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.7.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de UTCUTS y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Se requiere avanzar en información para la subcategoría *humedales que permanecen como tales*, específicamente respecto a la gestión que se realiza en las turberas. Se requiere información tanto para datos de actividad como para factores de emisión. También es un trabajo de mejoramiento que puede desarrollarse en el mediano a largo plazo, y ya está incluido en la actual NDC del país, la realización de inventario nacional de turberas para el 2025.

6.8. Asentamientos (4.E.)

6.8.1. Descripción de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones y absorciones de CO₂ generadas en las tierras donde hay asentamientos humanos, áreas urbanas e infraestructura construida (aeropuertos, carreteras, emplazamientos industriales), salvo que ya se hayan incluido en otras categorías.

En el contexto nacional, según estadísticas de CONAF (2019), los asentamientos abarcan una superficie de 502.319 ha en el país, y esta superficie ha aumentado desde 1990 en 74,9 %, con directa relación a la expansión de la población urbana.

En esta categoría se contabilizan las emisiones de CO₂ asociadas a la conversión de tierras en asentamientos. No se estiman las emisiones y absorciones de los asentamientos que permanecen como tales, ya que no existe información de datos de actividad y factores de emisión para cuantificar áreas verdes que se encuentren dentro de los asentamientos y que podrían contribuir al balance de CO₂.

6.8.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, el balance de GEI contabilizó una emisión de 274,0 kt CO₂ eq. Las emisiones han aumentado en un 35,3 % desde 1990 y han aumentado en un 32,4 % desde 2016 (Tabla 356).

Respecto a las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos por subcategoría, el 100 % corresponde a *Tierras convertidas en asentamientos*.

Tabla 356. 4.E. Asentamientos: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2018.

| Componente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 4.E.1. Asentamientos que permanecen como tales | - | - | - | - | - | - | - |
| 4.E.2. Tierras convertidas en asentamientos | 202,6 | 261,5 | 305,8 | 301,0 | 206,9 | 276,8 | 274,0 |
| Balance | 202,6 | 261,5 | 305,8 | 301,0 | 206,9 | 276,8 | 274,0 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

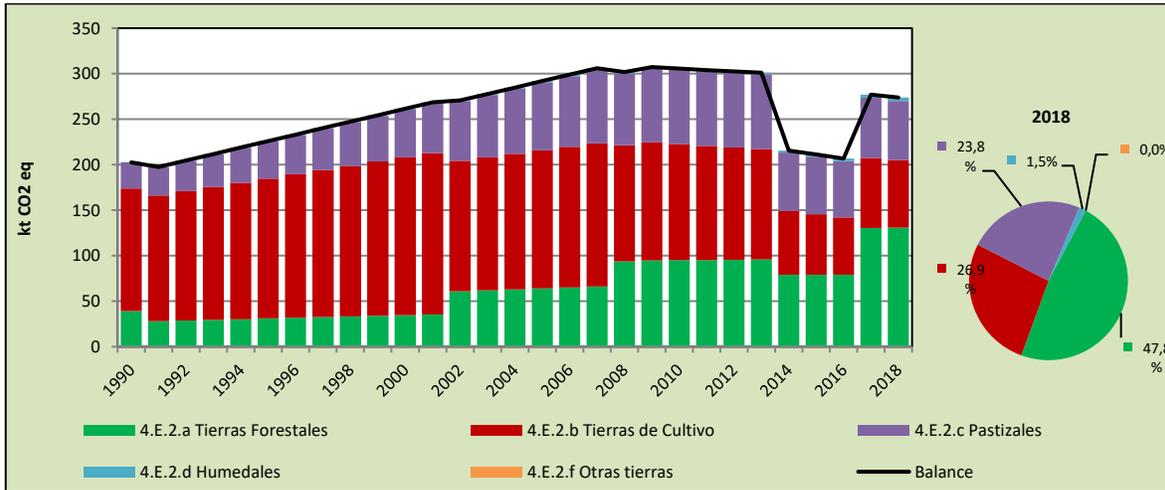
Para los *asentamientos que permanecen como tales*, se considera una metodología de nivel 1 por lo tanto no hay cambios en los depósitos de carbono. Para *las tierras convertidas a asentamientos*, en 2018 el balance de CO₂ de esta subcategoría contabilizó 274,0 kt CO₂ eq, aumentando en un 35,3 % desde 1990 y en un 32,4 % desde 2016 (Tabla 357 y Figura 167). Respecto de las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos, en el 2018 las *Tierras Forestales* convertidas a asentamientos son las de mayor aporte en las emisiones con un 47,8 % seguido por las *Tierras de cultivo* con un 26,9 %, *Pastizales* con un 23,8 % y *Humedales* con un 1,5 %. Esta tendencia se relaciona directamente con los resultados de la superficie de cambio de uso de la tierra, donde las *Tierras Forestales* son la superficie con mayor tasa de cambio a asentamientos.

Tabla 357. 4.E.2. Tierras convertidas en asentamientos: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018

| Subcomponente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 4.E.2.a. Tierras Forestales | 39,4 | 34,8 | 95,3 | 95,9 | 79,2 | 130,5 | 131,0 |
| 4.E.2.b. Tierras de Cultivo | 134,3 | 173,3 | 127,4 | 121,3 | 63,0 | 76,8 | 73,8 |
| 4.E.2.c. Pastizales | 28,7 | 52,6 | 81,5 | 82,2 | 61,8 | 66,0 | 65,2 |
| 4.E.2.d. Humedales | 0,1 | 0,9 | 1,7 | 1,6 | 3,0 | 3,5 | 4,0 |
| 4.E.2.e. Otras tierras | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Balance | 202,6 | 261,5 | 305,8 | 301,0 | 206,9 | 276,8 | 274,0 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

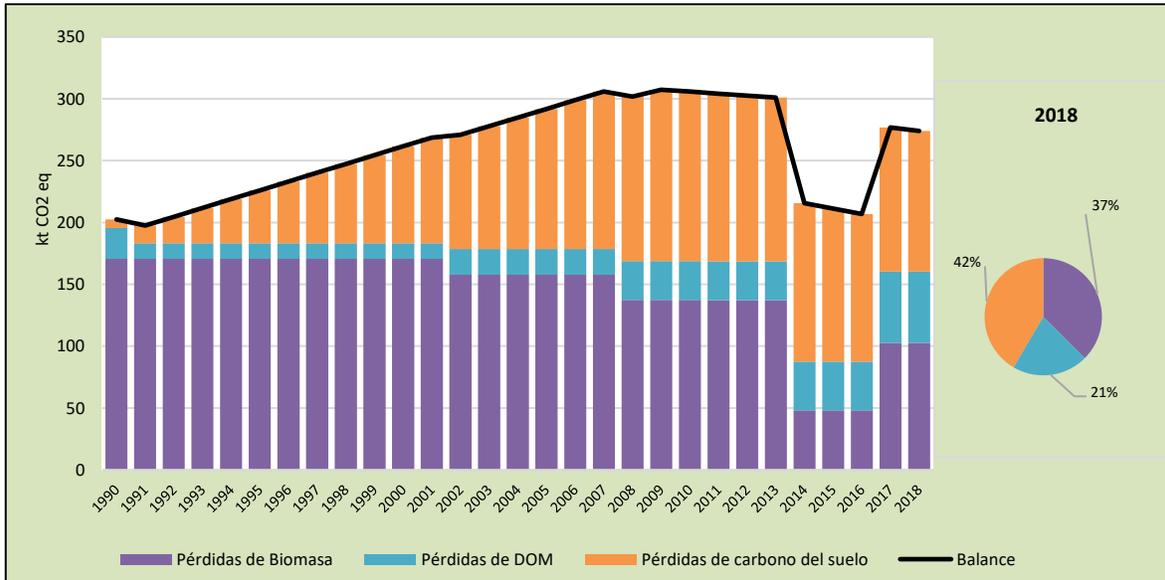
Figura 167. 4.E.2. Tierras convertidas en asentamientos: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

En cuanto a los depósitos de carbono (Figura 168), en la serie temporal se puede ver que la pérdida de biomasa es la más importante desde 1990 y luego aumenta la participación de la pérdida de carbono del suelo. En el 2018, la pérdida de carbono del suelo alcanza un 41,6 %, seguido por las pérdidas de biomasa con una 37,5 %, y con un 21 % de pérdidas de materia orgánica muerta (DOM). Las emisiones provienen principalmente del cambio de tierras de cultivo y de tierras forestales a asentamientos.

Figura 168. 4.E. Asentamientos: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por depósito de carbono, serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.8.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones y absorciones de CO₂ de la subcategoría *Asentamientos* se aplicaron una combinación del método Nivel 1 y Nivel 2 para *Tierras convertidas en asentamientos*. El método Nivel 2 proviene de las estimaciones realizadas para las *Tierras forestales*. Ambos métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. En la Tabla 358 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 358. 4.E. Asentamientos: métodos aplicados por subcategoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 4.E. Asentamientos | T1, T2, NE | CS, D, NE | | | | |
| 4.E.1. Asentamientos que permanecen como tales | NE | NE | | | | |
| 4.E.2. Tierras convertidas en asentamientos | T1, T2 | CS, D | | | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.8.3.1. Biomasa

6.8.3.1.1. Método

Asentamientos que permanecen como tal

Las emisiones y absorciones de CO₂ de *Asentamientos que permanecen como tales* según un nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* se encuentran en valor cero, ya que conservadoramente los cambios en las existencias de carbono de la biomasa debidos al crecimiento de esta se compensan totalmente con las reducciones en las existencias de carbono debidas a remociones.

Tierras convertidas a asentamientos

Para el caso de las tierras que se convierten a asentamientos se consideró la cantidad de biomasa que se corta o extrae de los distintos tipos de tierras, utilizando los valores paramétricos que corresponden a cada categoría específica, y bajo un método de nivel 1 se supone que se pierde toda la biomasa del ecosistema anterior, justo después de la conversión, incluso si no hay un cambio abrupto, y se supone que la biomasa residual ($B_{\text{DESPUÉS}}$) es, por lo tanto, cero. Además, se supone que los asentamientos alcanzan su biomasa de régimen constante durante el primer año posterior a la conversión.

6.8.3.1.2. Datos paramétricos

En cuanto a los datos requeridos se considera la información de stock de biomasa que el inventario de gases de efecto invernadero ha reportado desde la serie temporal 1984-2006 y que fue establecido con criterio experto.

Tabla 359. 4.E. Asentamientos: Datos paramétricos de biomasa de asentamientos

| Tipo de tierra | Biomasa aérea (t/ha) | Incremento anual Biomasa aérea (t/ha) | Pérdida anual en biomasa aérea (t/ha) |
|----------------|----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Asentamientos | 2,0 | 1,0 | 1,0 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.8.3.2. Materia Orgánica Muerta

6.8.3.2.1. Método

Para las tierras de asentamientos que permanecen como tal, se consideró una metodología de nivel 1 donde se supone que la materia muerta y hojarasca están en el equilibrio y, por ende, no es necesario estimar los cambios en las existencias de carbono de estos depósitos.

Para el caso de las tierras convertidas a asentamientos se consideró la aplicación del método de nivel 1, donde toda la materia orgánica de las tierras convertidas se emite en el año de la conversión y que no queda materia orgánica muerta en las tierras convertidas.

6.8.3.2.2. Datos paramétricos

Los valores de materia orgánica muerta que se consideran corresponden a los datos paramétricos de DOM de la categoría de tierras forestales cuando son convertidas a asentamientos.

6.8.3.3. Carbono del suelo

6.8.3.3.1. Método

Asentamientos que permanecen como tal

Debido a que no existe suficiente información que permita determinar los cambios de asentamientos que pueden existir dentro de esta subcategoría, se considera que el carbono del suelo no presenta cambios dentro de los asentamientos.

Tierras convertidas a asentamientos

Para el caso de tierras convertidas a asentamientos se considera la aplicación de la Ecuación 32 (Ecuación 2.25 del Cap.2 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*). Específicamente, las existencias iniciales (antes de la conversión) de C orgánico del suelo ($SOC_{(0-T)}$) y las existencias del último año del periodo de inventario (SOC_0) se contabilizan a partir de las existencias de referencia por defecto de C orgánico del suelo (SOC_{REF}) y los factores de cambio de existencias (F_{LU} , F_{MG} , F_I). Las tasas anuales de cambio de existencias se estiman basándose en la diferencia en las existencias (a través del tiempo) para el primer y el último año del periodo de inventario, dividido por la dependencia temporal de los factores de cambio de existencias (D, el valor por defecto es de 20 años).

6.8.3.3.2. Datos paramétricos

Se toman los valores de referencia para el carbono del suelo que entrega *Directrices del IPCC de 2006* adaptados al país, y para el caso de los asentamientos se consideran los factores de cambio de acuerdo con la Tabla 360, establecidos por criterio experto.

Tabla 360. 4.E. Asentamientos: Datos paramétricos para determinar carbono del suelo

| Asentamientos | FLU | FMG | FI | % participación ciudad |
|---------------|-----|------|----|------------------------|
| Pavimento | 0,8 | 1 | 1 | 80 % |
| Jardines | 1 | 1,14 | 1 | 10 % |
| Arbóreo | 1 | 1 | 1 | 10 % |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.8.3.4. Datos de actividad estadísticos

Los datos de actividad estadísticos provienen de las tasas anuales de cambio de usos de la tierra.

6.8.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 361.

Tabla 361. 4.E.2. Tierras convertidas en asentamientos: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------------------------|-----------------|---|------|---------------------------------------|------|-------------------------|------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 4.E.2 | Tierras convertidas en asentamientos | CO ₂ | 21 % | 21% | 29 % | 29% | 36 % | 36 % |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

6.8.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

6.8.6. Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación**6.8.6.1. Control de la calidad**

Durante la actualización del ISGEI de UTCUTS se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de UTCUTS. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*. Un resumen de las actividades de control de calidad se puede encontrar en el ANEXO 11.01.

6.8.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *UTCUTS*, el Equipo Técnico de UTCUTS ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de UTCUTS como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*. Un resumen del estado de avance de cada recomendación se encuentra en el ANEXO 11.02.

6.8.6.3. Verificación

El procedimiento de verificación consistió en realizar comparaciones de los resultados obtenidos durante esta serie temporal y la anterior calculada. Gracias a ello se logró detectar diferencias y establecer inconsistencias entre los datos empleados.

Por el momento no se cuenta con datos de otras fuentes (nacionales o internacionales) con los cuales se pueda comparar los resultados.

6.8.7. Recálculos

6.8.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

kSuperficie de tierras convertidas a asentamientos

La matriz de cambio de uso de la tierra fue modificada para la serie temporal y esto generó cambios en la superficie convertida a asentamientos.

Factor R de tierras de cultivo

Se revisó la información de biomasa de cultivos que se utiliza en las conversiones de tierras de cultivos a otras tierras y se estaba utilizando un factor R en forma errada y este ha sido eliminado considerando sólo la información de biomasa de cultivos que indican las Directrices del IPCC de 2006, con esto disminuyen las emisiones de *tierras de cultivo* que se convierten a *asentamientos*.

6.8.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

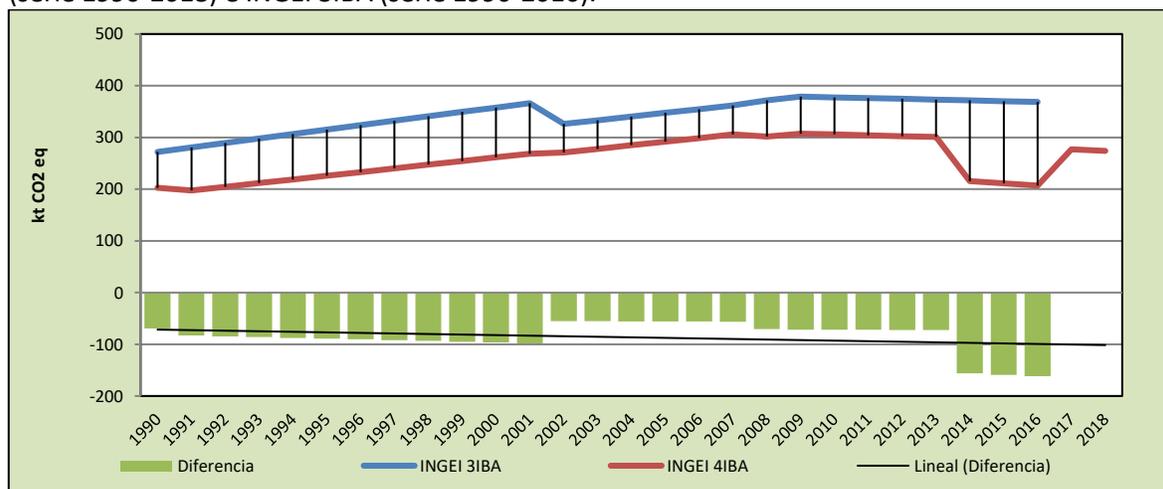
En la Tabla 362 y Figura 169 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe principalmente al cambio de superficie de conversión de tierras a asentamientos. Esto generó una disminución de las emisiones GEI de la categoría en un promedio de 85,4 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2016.

Tabla 362. 4.E. Asentamientos: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|
| INGEI 3IBA | 272,0 | 358,0 | 377,6 | 373,2 | 368,7 | | |
| INGEI 4IBA | 202,6 | 261,5 | 305,8 | 301,0 | 206,9 | 276,8 | 274,0 |
| Diferencia | -69,5 | -96,5 | -71,8 | -72,1 | -161,8 | | |
| Diferencia % | -34,3% | -36,9% | -23,5% | -24,0% | -78,2% | | |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 169. 4.E. Asentamientos: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016).



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.8.8. Plan de mejoramiento

No se considera un plan de mejoramiento en el corto plazo en esta categoría y que no es una categoría principal.

6.9. Otras tierras (4.F.)

6.9.1. Descripción de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones y absorciones de CO₂ generadas en zonas de suelo desnudo, roca, hielo y todas las zonas de tierras no gestionadas que no pertenecen a ninguna de las otras cinco categorías.

En el contexto nacional corresponde a lo que en el *Catastro* se define como Áreas desprovistas de vegetación que son sectores cuya cobertura vegetal no alcanza el 25 % de cobertura mínima; Nieves eternas y glaciares que corresponde a zonas cubiertas por nieve, nieves eternas, glaciares y campos de hielo; y finalmente Áreas no reconocidas que son sectores para los cuales no ha sido posible efectuar un reconocimiento vegetal debido a que constituyen zonas de acceso restringido o por falta de fotografías aéreas o imágenes. En 2018 la superficie de otras tierras en el país alcanza 26.545.571 ha, y tiene un leve aumento desde 1990 de 0,03 %.

En esta categoría se contabilizan sólo las emisiones de CO₂ asociadas a la conversión de tierras en otras tierras. No se estiman las emisiones y absorciones otras tierras que permanecen como tales, ya que de acuerdo con lo que señalan las *Directrices del IPCC de 2006* no son tierras gestionadas.

6.9.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, el balance de GEI contabilizó una emisión de 305,7 kt CO₂ eq. Las emisiones han aumentado en un 92,7 % desde 1990 y han disminuido en un 33,7 % desde 2016 (Tabla 363).

Respecto a las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos por categoría, el 100 % corresponde a *Tierras convertidas en Otras tierras*.

Tabla 363. 4.F. Otras tierras: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018.

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 4.F.1. Otras tierras que permanecen como tales | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4.F.2. Tierras convertidas en otras tierras | 158,6 | 222,1 | 518,1 | 483,8 | 460,9 | 307,6 | 305,7 |
| Balance | 158,6 | 222,1 | 518,1 | 483,8 | 460,9 | 307,6 | 305,7 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

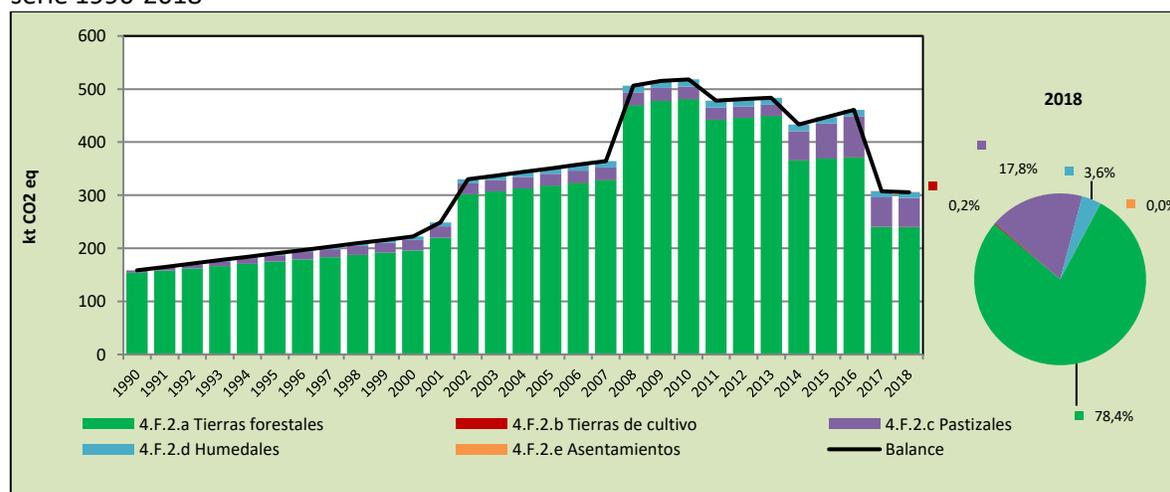
Para las *tierras convertidas a Otras Tierras*, en 2018 el balance de CO₂ de esta subcategoría contabilizó 305,8 kt CO₂ eq, aumentando en un 92,7 % desde 1990 y en un 33,7 % desde 2016 (Tabla 364 y Figura 170). Respecto de las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos, en el 2018 las *Tierras Forestales convertidas a Otras Tierras* son las de mayor aporte en las emisiones con un 78,3 % seguido por *Pastizales* con un 17,8 %, *Humedales* con un 3,63 %, *Tierras de Cultivo* con un 0,20 % y *Asentamientos* con un 0,01 %. Esta tendencia se relaciona directamente con los resultados de la superficie de cambio de uso de la tierra, donde las *Tierras Forestales* son la superficie con mayor tasa de cambio a *Otras Tierras*.

Tabla 364. 4.F.2 Tierras convertidas a Otras tierras: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2018.

| Subcomponente | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 4.F.2.a Tierras forestales | 153,9 | 195,7 | 481,2 | 449,6 | 371,4 | 240,3 | 239,5 |
| 4.F.2.b Tierras de cultivo | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,5 | 0,6 |
| 4.F.2.c Pastizales | 4,2 | 20,2 | 23,5 | 20,6 | 77,7 | 55,3 | 54,4 |
| 4.F.2.d Humedales | 0,6 | 6,2 | 13,4 | 13,5 | 11,8 | 11,5 | 11,1 |
| 4.F.2.e Asentamientos | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0211 |
| Balance | 158,6 | 222,1 | 518,1 | 483,8 | 460,9 | 307,6 | 305,7 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

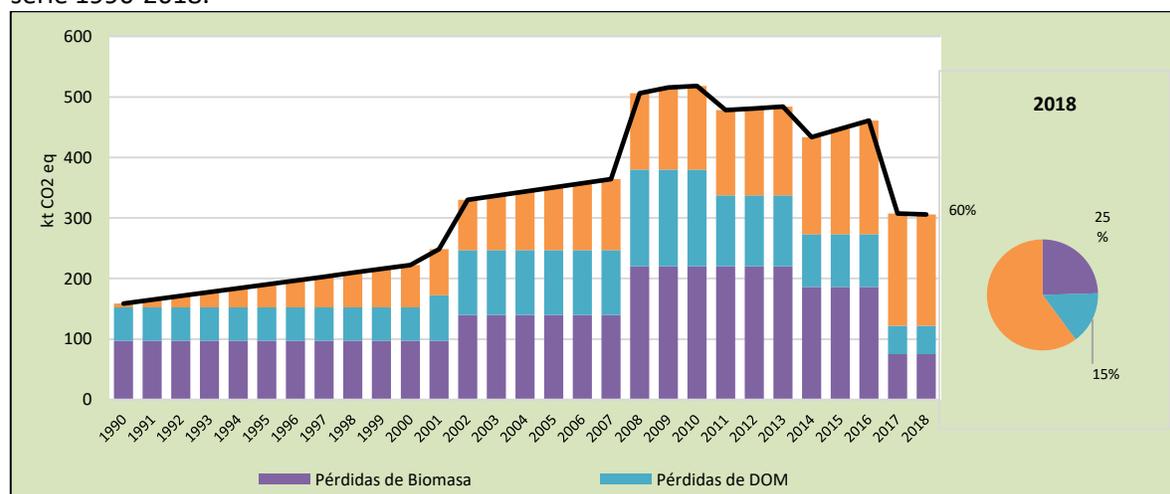
Figura 170. 4.E.2. Tierras convertidas en otras tierras: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

En cuanto a los depósitos de carbono (Figura 171), en la serie temporal se puede ver que la pérdida de biomasa es la más importante desde 1990 y luego aumenta la participación de la pérdida de carbono del suelo. En el 2018, la pérdida de carbono del suelo alcanza un 60,0 %, seguido por las pérdidas de biomasa con un 25 %, y con un 15 % de pérdidas de materia orgánica muerta (DOM). Las emisiones provienen principalmente del cambio de tierras de tierras forestales y pastizales a otras tierras.

Figura 171. 4.F. Otras tierras: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por depósito de carbono, serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.9.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones y absorciones de CO₂ de la subcategoría *Otras Tierras* se aplicaron una combinación del método Nivel 1 y Nivel 2 para *Tierras convertidas en otras tierras*. El método Nivel 2 proviene de las estimaciones realizadas para las *Tierras forestales*. Ambos métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. En la Tabla 365 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 365. 4.F. Otras tierras: métodos aplicados por subcategoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 4.F. Otras Tierras | T1, T2, NE | CS, D, NE | | | | |
| 4.F.1. Otras Tierras que permanecen como tales | NE | NE | | | | |
| 4.F.2. Tierras convertidas en otras tierras | T1, T2 | CS, D | | | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.9.3.1. Biomasa

6.9.3.1.1. Método

Tierras convertidas a otras tierras

Para el caso de las tierras que se convierten a otras tierras se consideró la cantidad de biomasa que se corta o extrae de los distintos tipos de tierras, utilizando los valores paramétricos que corresponden a cada categoría específica, y bajo un método de nivel 1 se supone que se pierde toda la biomasa del ecosistema anterior, justo después de la conversión, incluso si no hay un cambio abrupto, y se supone que la biomasa residual ($B_{\text{DESPUÉS}}$) es, por lo tanto, cero (es decir, se elimina toda la vegetación de la tierra antes de que se establezca la vegetación del pastizal). Los valores por defecto para biomasa previos a la conversión pueden encontrarse en las categorías específicas de tierras (p. ej., los factores por defecto para tierras forestales se encuentran en el capítulo referido a biomasa en tierras forestales).

6.9.3.2. Materia Orgánica Muerta

6.9.3.2.1. Método

Tierras convertidas a otras tierras

Para el caso de las tierras convertidas a otras tierras se consideró la aplicación del método de nivel 1, donde toda la materia orgánica de las tierras convertidas se emite en el año de la conversión y que no queda materia orgánica muerta en las tierras convertidas.

6.9.3.2.2. Datos paramétricos

Los valores de materia orgánica muerta corresponden a los datos paramétricos de cada categoría en dicho depósito de carbono.

6.9.3.3. Carbono del suelo

6.9.3.3.1. Método

Tierras convertidas a otras tierras

Para el caso de tierras convertidas a otras tierras se considera la aplicación de la Ecuación 32 (Ecuación 2.25 de las *Directrices del IPCC de 2006*). Específicamente, las existencias iniciales (antes de la conversión) de C orgánico del suelo ($\text{SOC}_{(0-T)}$) y las existencias del último año del periodo de inventario (SOC_0) se contabilizan a partir de las existencias de referencia por defecto de C orgánico del suelo (SOC_{REF}) y los factores de cambio de existencias (F_{LU} , F_{MG} , F_{I}). Las tasas anuales de cambio de existencias se estiman basándose en la diferencia en las existencias (a través del tiempo) para el primer y el último año del periodo de inventario, dividido por la dependencia temporal de los factores de cambio de existencias (D , el valor por defecto es de 20 años).

6.9.3.3.2. Datos paramétricos

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* se considera bajo un método Nivel 1 que el stock de carbono del suelo de otras tierras es asumido como valor cero.

6.9.3.4. Datos de actividad estadísticos

El dato de actividad estadístico necesario es la superficie de *Tierras forestales*, *Tierras de cultivo*, *Humedales*, *Pastizales* y *Asentamientos* que cambian a *Otras tierras*, que es un dato obtenido aplicando las tasas anuales de cambio proveniente de la matriz de cambio de usos de la tierra.

6.9.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 366.

Tabla 366. 4.F.2. Tierras convertidas en Otras tierras: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------------------------|-----------------|---|------|---------------------------------------|------|-------------------------|------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 4.F.2 | Tierras convertidas en Otras tierras | CO ₂ | 21 % | 21 % | 26 % | 26 % | 33 % | 33 % |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

6.9.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los recálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

6.9.6. Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

6.9.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de UTCUTS se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de UTCUTS. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*. Un resumen de las actividades de control de calidad se puede encontrar en el ANEXO 11.01.

6.9.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *UTCUTS*, el Equipo Técnico de UTCUTS ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de UTCUTS como del INGEL de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*. Un resumen del estado de avance de cada recomendación se encuentra en el ANEXO 11.02.

6.9.6.3. Verificación

El procedimiento de verificación consistió en realizar comparaciones de los resultados obtenidos durante esta serie temporal y la anterior calculada. Gracias a ello se logró detectar diferencias y establecer inconsistencias entre los datos empleados.

Por el momento no se cuenta con datos de otras fuentes (nacionales o internacionales) con los cuales se pueda comparar los resultados.

6.9.7. Recálculos

6.9.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Superficie de tierras convertidas a otras tierras

La matriz de cambio de uso de la tierra fue modificada para la serie temporal y esto generó cambios en la superficie convertida a otras tierras.

Factor R de tierras de cultivo

Se revisó la información de biomasa de cultivos que se utiliza en las conversiones de tierras de cultivos a otras tierras y se estaba utilizando un factor R en forma errada y este ha sido eliminado considerando sólo la información de biomasa de cultivos que indican las Directrices del IPCC de 2006, con esto disminuyen las emisiones de *tierras de cultivo* que se convierten a *otras tierras*.

6.9.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

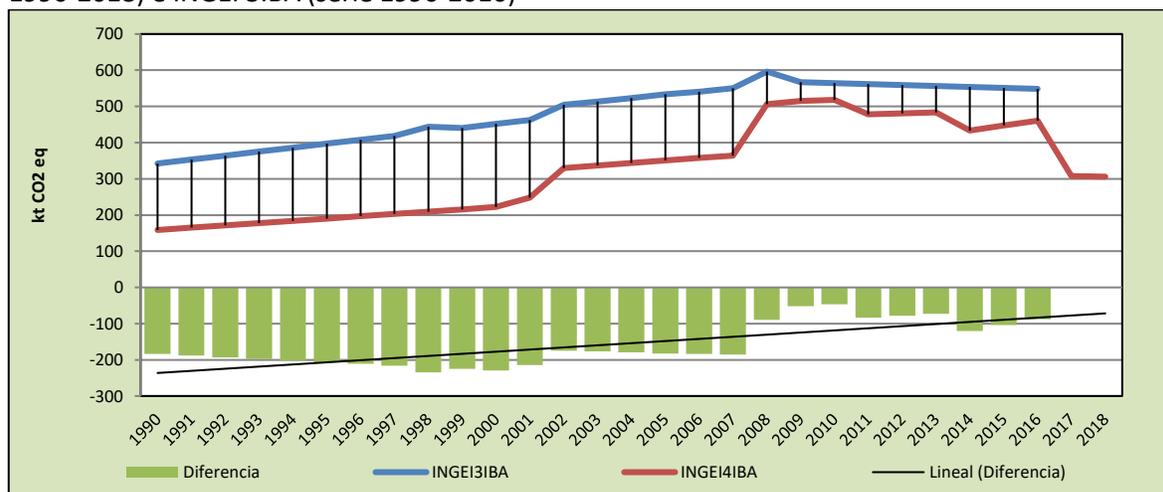
En la Tabla 367 y Figura 172 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe principalmente al cambio de superficie de conversión de tierras a otras tierras. Esto generó una disminución de las emisiones GEI de la categoría en un promedio de 159,9 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2016.

Tabla 367. 4.F. Otras tierras: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|----------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| INGEI3IBA | 342,4 | 451,7 | 564,3 | 556,4 | 548,6 | | |
| INGEI4IBA | 158,6 | 222,1 | 518,1 | 483,8 | 460,9 | 307,6 | 305,7 |
| Diferencia | -183,7 | -229,6 | -46,2 | -72,7 | -87,7 | 307,6 | 305,7 |
| Diferencia % | -115,8% | -103,4% | -8,9% | -15,0% | -19,0% | 100,0% | 100,0% |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 172. 4.F. Otras tierras: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.9.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de UTCUTS y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas de la categoría de *Otras Tierras* son las siguientes:

- Actualmente CONAF se encuentra trabajando en las nuevas cartografías de las regiones de Antofagasta y Magallanes y Antártica chilena, que le permitan informar con mayor detalle las categorías de tierras y en particular *Otras Tierras* que concentra una superficie importante en estas regiones, y que en la actualidad mantienen escala 1:250.000, y a futuro tendrán una escala de mayor detalle (1:50.000).
- Además, para estas regiones en la elaboración de los Catastros se está trabajando principalmente con imágenes satelitales Sentinel-2, mejorando los niveles de resolución y detección de la vegetación.
- Por último, en el caso del estudio de cambios de uso, se está trabajando a nivel espectral con imágenes Landsat 8 en algunas regiones.
- Todas estas mejoras se implementarán en la próxima actualización del INGEI.

6.10. Productos de la Madera Recolectada (4.G.)

6.10.1. Descripción de la categoría

La categoría de productos de madera recolectada (PMR) da cuenta del aporte de los PMR a las emisiones/absorciones de CO₂ anuales de UTCUTS, debido a que gran parte de la madera cosechada de las tierras que se consideran en este sector, permanece en los productos durante períodos de tiempo de diferente duración, dependiendo de su tipo.

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* se consideran los productos de madera maciza y los productos de papel. En los productos de madera maciza se considera específicamente a la madera aserrada y los productos de tableros, y en los productos de papel a papeles y cartones. El método

de contabilidad utilizado es el de producción, y la estimación considera los productos de madera cosechada en Chile que consiste en madera que se origina de árboles cosechados en el país y que son usados para los productos de madera aserrada, tableros y papeles y cartones. El carbono almacenado en vertederos no se considera, ya que no existe información suficiente en el sector *Residuos* para poder considerarlo en la contabilidad.

6.10.2. Tendencia de las emisiones de GEI

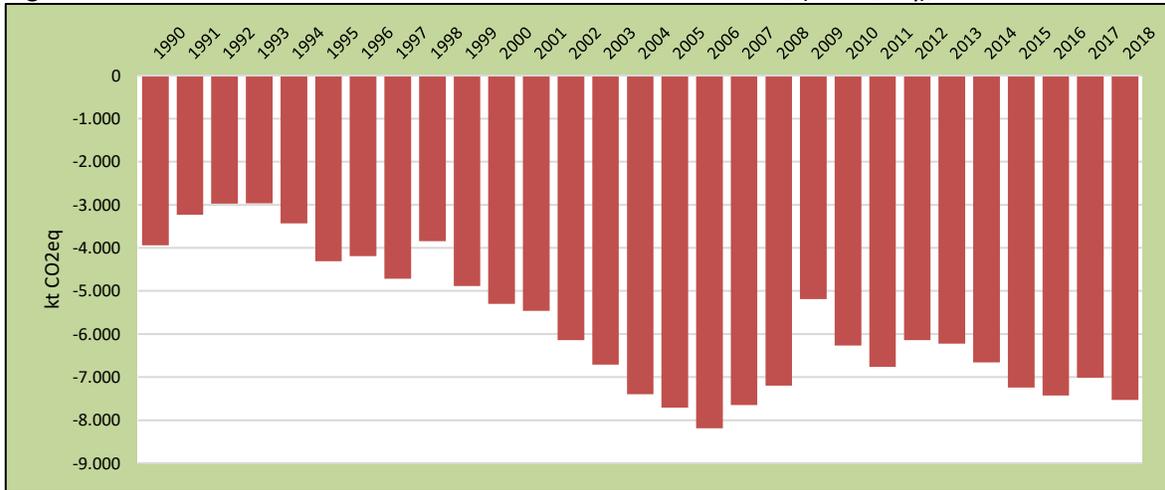
Los *Productos de madera recolectada* han aumentado su contribución en la serie temporal en directa relación con el aumento de la producción de madera aserrada, tableros y papeles y cartones. Desde 1990 la categoría se ha incrementado en un 91 % y desde 2016 en 1 % (Tabla 368 y Figura 173). Dentro de los productos, los más relevante son la madera aserrada y los tableros por el mayor tiempo de permanencia del carbono, de acuerdo con la metodología de las *Directrices del IPCC de 2006*. La contribución de esta categoría se ve afectada por las variaciones del mercado, y en la serie temporal el mayor impacto se ve en el 2009, que coincide con la disminución en la producción de madera aserrada y de tableros, debido a la disminución de la demanda producto de la crisis económica de la época (Figura 174).

Tabla 368. 4.G. Productos de madera recolectada: contribución de los productos de madera recolectada (kt CO₂ eq), serie 1990-2018.

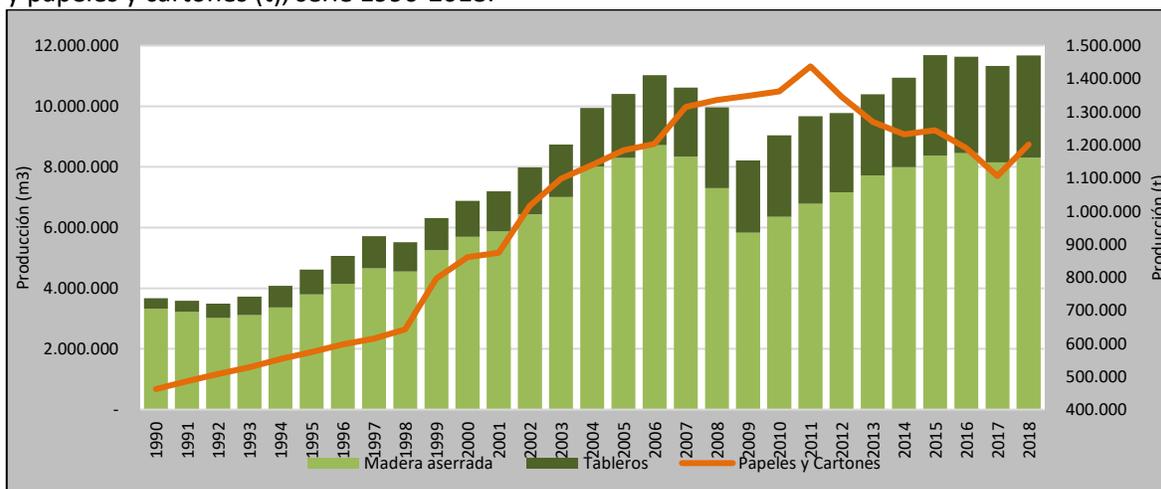
| Categoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 4.G. Productos de madera recolectada | -3.944,3 | -5.300,0 | -6.265,9 | -6.219,5 | -7.425,4 | -7.013,5 | -7.533,7 |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 173. 4.G. Productos de madera recolectada: balance de CO₂ (kt CO₂ eq), serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 174. 4.G. Productos de madera recolectada: producción de madera aserrada y tableros (m³) y papeles y cartones (t), serie 1990-2018.

Fuente: Equipo Técnico de INFOR

6.10.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de la contribución de los *PMR* se aplicaron una combinación del método Nivel 1 y Nivel 2. El método Nivel 2 se aplicó para los datos de producción anual, importaciones y exportaciones por tipos de productos. Ambos métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. En la Tabla 369 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 369. 4.G. Productos de la madera recolectada: métodos aplicados por subcategoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 4. G. Productos de la madera recolectada | T1, T2 | D, CS | | | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.10.3.1. Método

Se utiliza el método de producción que estima los cambios en las existencias de carbono del depósito forestal (y de otros suelos productores de madera) del país declarante y el depósito de productos de madera que contiene productos hechos de la madera recolectada en el país declarante. El depósito de productos de madera incluye los productos hechos a partir de la recolección nacional que se exportan y almacenan en usos en otros países. Este método realiza el inventario de los productos de madera procedentes de la madera recolectada en el ámbito nacional y no proporciona un inventario completo del carbono de la madera que se encuentra en las existencias nacionales. Puesto que algunos de los cambios en las existencias declarados por un país

pueden darse en otros países (donde se retienen las exportaciones), el informe de cambio de existencias indica cuándo pero no dónde se producen los cambios (IPCC, 2006).

Para estimar la contribución de los PMR, se necesitan las variables 2A PMR en uso y 2B PMR en SEDS, para las que se originó de la cosecha doméstica de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*.

Ecuación 33. 4.G. Productos de la madera recolectada: cambio de stock de carbono.

$$\Delta C_{PMR DH} = \Delta C_{PMR IU DH} - \Delta C_{PMR SEDS DH}$$

Fuente: Cuadro 12.1; Capítulo 12; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $\Delta C_{PMR DH}$: Cambio anual en las existencias de carbono en PMR
- $\Delta C_{PMR IU DH}$: Variable 2 A, Cambio anual en las existencias de carbono en PMR en uso donde la madera proviene de la cosecha nacional
- $\Delta C_{PMR SEDS DH}$: Variable 2B, Cambio en las existencias de carbono en PMR en SEDS donde la madera proviene de la cosecha nacional

Debido a que el cambio de stock de carbono en los SEDS no es estimado, la variable 2B ($\Delta C_{PMR SEDS D}$) se establece en cero, y sólo se estimó la variable 2A ($\Delta C_{PMR IU DH}$). Para la estimación de la variable 2A se utiliza método de nivel 1 y 2, para los factores de emisión se usa valores por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* y para los datos de actividad se usan datos provenientes de las estadísticas nacionales y sólo en algunos años ante los vacíos de información en las estadísticas nacionales se usó la información de FAOSTAT. La descomposición de los PMR se estima empleando la función de descomposición de primer orden (Ecuación 12.1, Volumen 4, Capítulo 12, *Directrices del IPCC de 2006*).

6.10.3.1.1. Datos paramétricos

Los Niveles 1 y 2 utilizan la hipótesis de que se descartan los PMR del uso a una velocidad constante, k , aplicada al carbono presente en el depósito. Esta velocidad constante de descarte puede especificarse mediante una vida media asociada en años para los productos del depósito. La vida media es la cantidad de años que transcurren hasta que la mitad de la cantidad sale de uso. Se utiliza la información de vida media e índices de descarte (k) por defecto (Tabla 370).

Tabla 370. 4.G. Productos de madera recolectada: Vidas medias por defecto para los depósitos de carbono de “productos en uso” y fracción asociada que retiene cada año

| | Productos de madera maciza | Productos de papel |
|---|----------------------------|--------------------|
| Vida media (años) | 30 | 2 |
| Índice de descomposición k ($k = \ln(2)/$ vida media) | 0,023 | 0,347 |

Fuente: Cuadro 12.2 de las *Directrices del IPCC de 2006*

Para la estimación de las variables de producción antes de 1961 se utilizó la Ecuación 12.6 del Volumen 4, Capítulo 12 de las *Directrices del IPCC de 2006* y para el índice estimado de aumento para la producción de dicha ecuación, se utilizó el índice de la región América Latina del Cuadro 12.3 del Volumen 4, Capítulo 12 de las *Directrices del IPCC de 2006*, cuyo valor es 0,0220.

Se utilizó la información de factores por defecto para convertir las unidades de productos en carbono de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 371).

Tabla 371. 4.G. Productos de madera recolectada: Factores por defecto para convertir unidades de productos en carbono

| | Rollizos, rollizos industriales, madera aserrada, otros rollizos industriales, madera para pasta de papel, astillas, partículas, madera combustible, residuos de madera | Promedio para los paneles de madera | Papel y Cartón, pulpa, pulpa de fibra recuperada, papel recuperado |
|---|---|-------------------------------------|--|
| Factor de carbono (toneladas de carbono por m ³ de producto o tonelada en aire seco de producto) | 0,225 | 0,295 | 0,45 |

Fuente: Cuadro 12.4, Volumen 4, Capítulo 12, *Directrices del IPCC de 2006*

6.10.3.1.2. Datos de actividad estadísticos

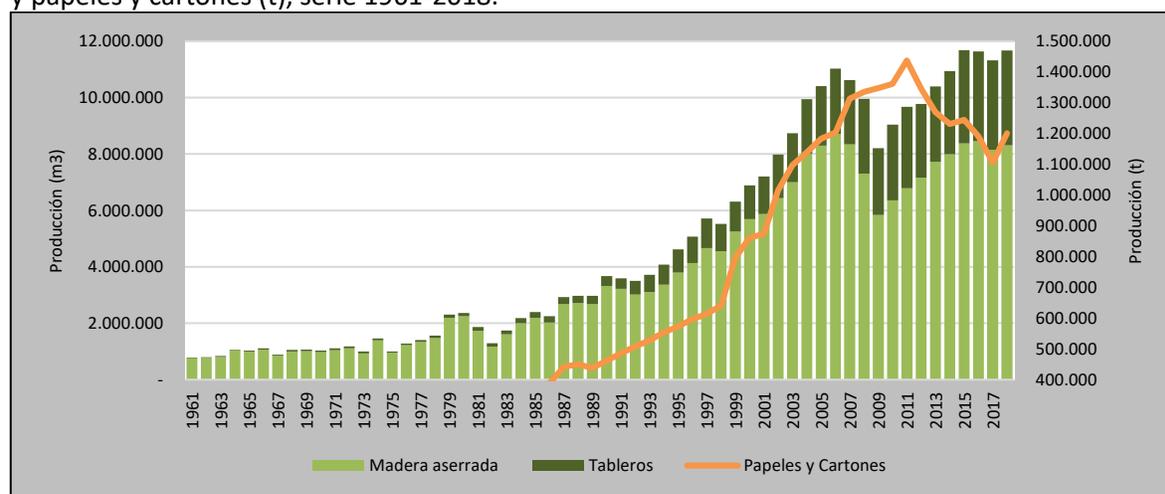
Se utilizó la información país y en los casos en que no existía información país se completó el dato con la base FAOSTAT. La información estadística de los productos madera aserrada, tableros y papel (Figura 175) se generó completamente con datos país que provienen de INFOR en los anuarios forestales, desde el año 1961 al 2018. Los detalles de la información y fuentes de datos se encuentran en la Tabla 372.

Tabla 372. 4.G. Productos de madera recolectada: Desagregación de productos y fuentes de datos

| Variables | Productos desagregados | Fuentes |
|---|---|---|
| Madera aserrada | Madera aserrada | Producción, exportaciones, importaciones: 1961–2018 Estadísticas INFOR |
| Tableros | Tableros de fibra duro Tablero de fibra de alta densidad (HDF) Tableros de fibra de densidad media (MDF) Tableros de hojuelas orientadas (OSB) Tableros de partículas de densidad media (MDP) Contrachapados Chapas | Producción, exportaciones, importaciones: 1961-2018 Estadísticas INFOR |
| Papel | Papel para impresión y escritura Papeles para envolver y para fabricación de envases Papeles de uso doméstico y sanitario Otros papeles | Producción, exportaciones, importaciones: 1961 - 2018 Estadísticas INFOR |
| Trozas | | Producción 1961–1974 FAOSTAT; 1975-2018 Estadísticas INFOR Exportaciones, importaciones 1961–2018 Estadísticas INFOR |
| Trozas industriales | | Producción: 1961-1973 FAOSTAT; 1974 – 2018 Estadísticas INFOR Exportaciones, importaciones: 1961-2018 Estadísticas INFOR |
| Pulpa de madera y Papel recubierto | | Exportaciones, importaciones: 1961–2018 Estadísticas INFOR |
| Astillas | | Exportaciones: 1986–1990 FAOSTAT; 1991–2018 Estadísticas INFOR |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 175. 4.G. Productos de madera recolectada: producción de madera aserrada y tableros (m³) y papeles y cartones (t), serie 1961-2018.



Fuente: Equipo Técnico de INFOR

6.10.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta categoría, para el 2018, se presenta en la Tabla 373.

Tabla 373. 4.G. Productos de madera recolectada: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|---------------------------------|-----------------|---|------|---------------------------------------|------|-------------------------|------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 4.G | Productos de madera recolectada | CO ₂ | 10 % | 10 % | 27 % | 27 % | 29 % | 29 % |

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

6.10.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se revisó la información de productos generada en el país y que se publican en los boletines estadísticos de INFOR y la información publicada en FAOSTAT, Ante los vacíos de información del país, se usó la información de FAOSTAT.

6.10.6. Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

6.10.6.1. Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de UTCUTS se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de UTCUTS. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*. Un resumen de las actividades de control de calidad se puede encontrar en el ANEXO 11.01.

6.10.6.2. Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *UTCUTS*, el Equipo Técnico de *UTCUTS* ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de *UTCUTS* como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*. Un resumen del estado de avance de cada recomendación se encuentra en el ANEXO 11.02.

6.10.6.3. Verificación

El procedimiento de verificación consistió en realizar comparaciones de los resultados obtenidos durante esta serie temporal tanto en el software que pone a disposición el IPCC como en forma manual en las planillas entregadas como referencias por las *Directrices del IPCC de 2006*, obteniendo los mismos resultados.

6.10.7. Plan de mejoramiento

Al ser una categoría principal, se espera avanzar en un nivel 2 para los factores de emisión que se consideran de acuerdo con la información disponible en el país en el corto a mediano plazo.

7. SECTOR RESIDUOS (5)

7.1. Panorama general

7.1.1. Introducción

El sector *Residuos* incluye las emisiones de GEI resultantes de procesos microbiológicos que ocurren en la materia orgánica bajo degradación anaeróbica, principalmente desde sitios de disposición de residuos sólidos, manejados o no manejados; la emisión de óxido nitroso por la descomposición anaeróbica de excretas humanas; y el tratamiento anaeróbico de aguas residuales domésticas e industriales en fase líquida y sólida (lodos). Las *Directrices del IPCC de 2006* asumen que el balance del CO₂ biogénico es cero, ya que la emisión de este gas proviene de un sustrato que se sintetiza periódicamente en ciclos anuales o bien, de sustratos sintetizados a partir del consumo de otros sustratos orgánicos.

El sector *Residuos*, según las *Directrices del IPCC de 2006*, comprende principalmente las emisiones de:

- La disposición de los residuos sólidos.
- El tratamiento biológico de los residuos sólidos.
- La incineración de los residuos.
- El tratamiento y descarga de las aguas residuales

Durante los últimos años, el país ha mejorado la gestión de sus residuos. Se han reemplazado sitios de disposición de residuos sólidos como basurales y vertederos por rellenos sanitarios que cumplen con las normas sanitarias exigidas; así mismo hay un aumento en el interés por la valorización de residuos, como el compostaje, sin embargo, aún el principal destino de los residuos son los sitios de disposición final. También en el tratamiento y descarga de aguas residuales hay un crecimiento de forma significativa en la cobertura de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales domésticas y entrada en vigor de reglamentación en el tratamiento y descarga de aguas residuales industriales.

Lo anterior contrasta con la carencia y escasa calidad de la información histórica proveniente desde este sector. Existe una discordancia entre las cifras sobre cantidades y composición de residuos generados y las cifras de los residuos llevados a disposición final y tratados por instalaciones de tratamiento biológico e incineración. Por lo cual, en los últimos años se han tomado medidas frente a esta problemática, y se han implementado sistemas y plataformas web que favorecen el reporte de este tipo de información. A la vez que se realizan chequeos que permiten a generadores y valorizadores de residuos validar la información ingresada por los usuarios, sin embargo, este proceso depende de los recursos con los que se disponga, por lo que no es posible llevarlo a cabo para la totalidad de datos.

Las *Directrices del IPCC de 2006* usan ciertos términos diferentes a los utilizados a nivel nacional para el sector *Residuos*. La Tabla 374 muestra estas denominaciones y la adaptación de las mismas.

Tabla 374. Sector Residuos: homologación de términos para las categorías del sector

| Denominación <i>Directrices del IPCC de 2006</i> | Denominación Nacional | Denominación Utilizada |
|--|---|--|
| Eliminación de Desechos Sólidos | Disposición de Residuos | Disposición de Residuos Sólidos |
| Desechos Sólidos Municipales (DSM) | Residuos Sólidos Domiciliarios | Residuos Sólidos Municipales (RSM) |
| Sitios de Eliminación de Desechos Sólidos (SEDS) | Sitios de Disposición Final de Residuos Domiciliarios | Sitios de Disposición de Residuos Sólidos (SDRS) |

| Denominación <i>Directrices del IPCC de 2006</i> | Denominación Nacional | Denominación Utilizada |
|--|---|--|
| Tratamiento Biológico de los Desechos Sólidos | Tratamiento Biológico de Residuos | Tratamiento Biológico de Residuos Sólidos |
| Incineración e Incineración Abierta de Residuos | Incineración y Quema Abierta de Residuos | Incineración y Quema Abierta de Residuos |
| Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales | Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales | Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales |
| Aguas Residuales Domésticas | Aguas servidas | Aguas Residuales Domésticas |
| Aguas Residuales Industriales | Residuos Industriales Líquidos (RILes) | Aguas Residuales Industriales |
| Requisito Bioquímico de Oxígeno (BOD) | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) |
| Requisito Químico de Oxígeno (DQO) | Demanda Química de Oxígeno (DQO) | Demanda Química de Oxígeno (DQO) |

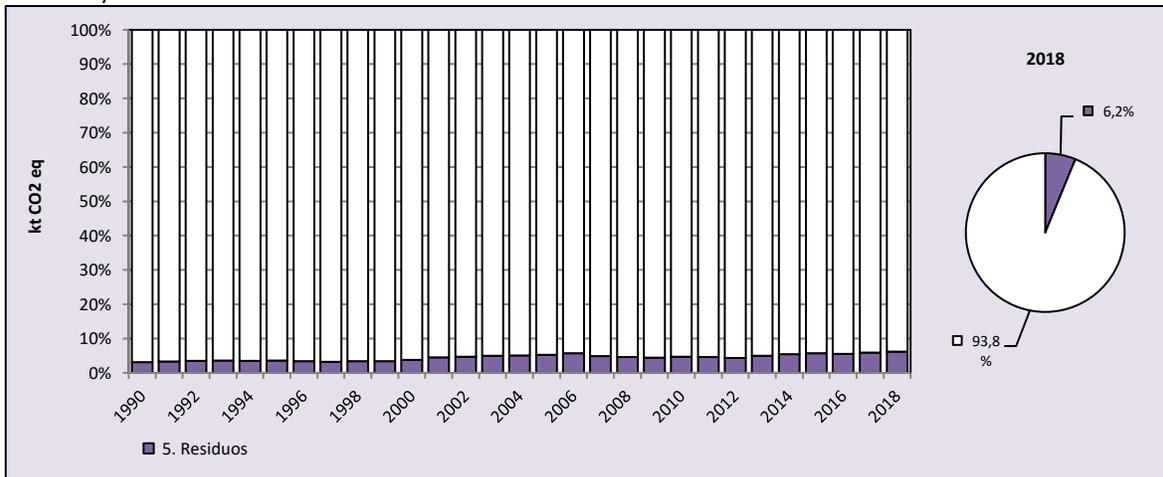
Nota: En la normativa chilena no se hace referencia a la palabra “desechos”; se usa el término residuos, es por esto que se adaptó la denominación entregada por las *Directrices del IPCC de 2006* a las condiciones nacionales.

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.1.2. Tendencia de las emisiones de GEI

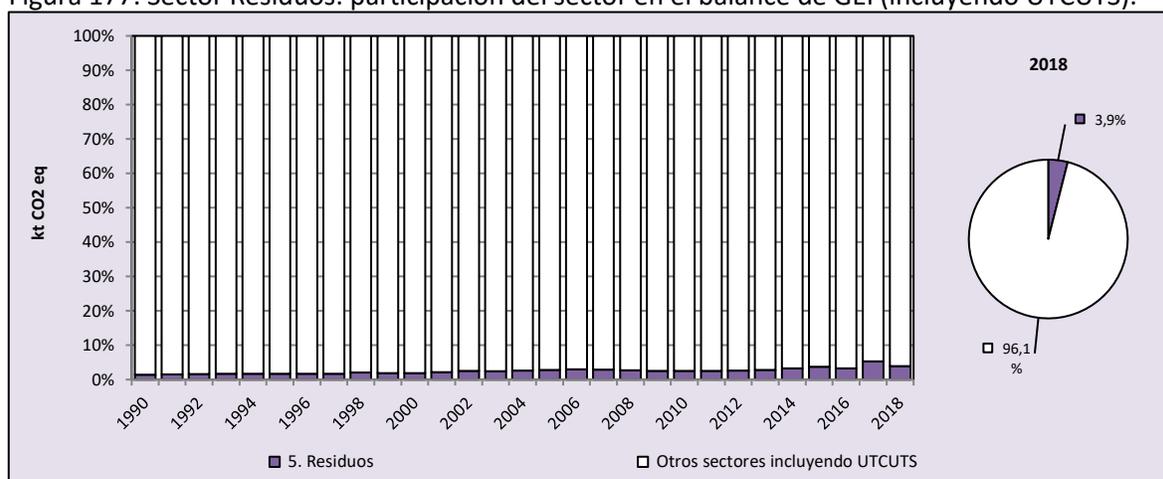
El sector *Residuos* representó el 6 % de las emisiones de GEI totales (Figura 176) y el 4 % del balance de GEI del país (Figura 177) para el 2018.

Figura 176. Sector Residuos: participación del sector en las emisiones de GEI totales (excluyendo UTCUTS).



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 177. Sector Residuos: participación del sector en el balance de GEI (incluyendo UTCUTS).



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

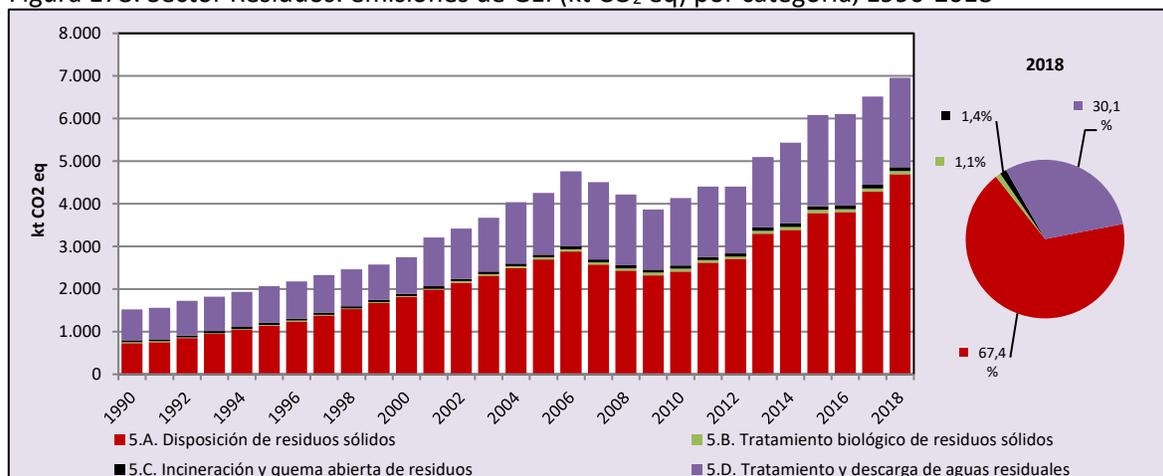
En 2018, las emisiones de GEI del sector contabilizaron 6.958 kt CO₂ eq, incrementándose en un 358 % desde 1990 y en un 13,9 % desde 2016 (Tabla 375 y Figura 178). Las principales causas del incremento de las emisiones de GEI del sector son el aumento de la población, su modelo de consumo y el consiguiente aumento de la generación de residuos sólidos y líquidos. La disminución en las emisiones de GEI, observadas entre 2007 y 2013 se debe, principalmente, a la recuperación de CH₄ en los Sitios de Disposición de Residuos Sólidos (SDRS), asociada a los Certificados de Reducción de Emisiones (CER), desde los proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) que fueron un importante incentivo a este tipo de prácticas. Sin embargo, el proceso se volvió menos rentable con lo que dejaron de desarrollarse nuevos proyectos. A partir del 2013 algunos SDRS comenzaron a capturar el metano con la finalidad de generar energía, lo que ha amortiguado el crecimiento de las emisiones por aumento de población agregando además variabilidad entre años. Adicionalmente, se observan variaciones interanuales en los últimos años de la serie lo que tiene relación con la variabilidad en la disposición y tratamiento de residuos sólidos y líquidos industriales, tanto por cambios en la producción como por una mayor incertidumbre en los datos de residuos industriales.

Tabla 375. Sector Residuos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría

| Categoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 5.A. Disposición de residuos sólidos | 733,6 | 1.817,3 | 2.412,1 | 3.298,2 | 3.807,3 | 4.292,9 | 4.691,9 |
| 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos | 17,0 | 20,4 | 64,8 | 68,2 | 67,9 | 69,0 | 75,3 |
| 5.C. Incineración y quema abierta de residuos | 45,6 | 53,1 | 71,4 | 81,0 | 84,1 | 87,1 | 94,8 |
| 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales | 722,7 | 851,9 | 1.585,3 | 1.647,7 | 2.147,3 | 2.066,8 | 2.095,6 |
| Total | 1.519,0 | 2.742,6 | 4.133,6 | 5.095,1 | 6.106,6 | 6.515,7 | 6.957,6 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 178. Sector Residuos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

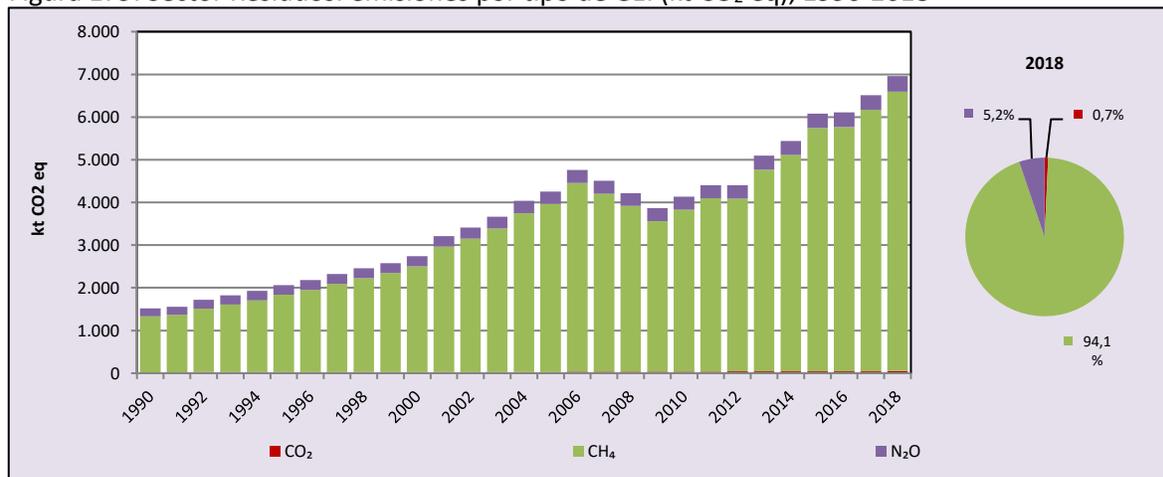
En 2018, el principal GEI emitido por el sector fue el CH₄, representando un 94 % de las emisiones de GEI del sector. Lo sigue el N₂O con un 5,2 % y el CO₂ con un 0,7 % (Tabla 376 y Figura 179).

Tabla 376. Sector Residuos: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq)

| GEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| CO ₂ | 24,2 | 28,1 | 37,8 | 42,9 | 44,6 | 45,9 | 50,0 |
| CH ₄ | 1.308,5 | 2.471,9 | 3.790,7 | 4.728,0 | 5.721,3 | 6.121,4 | 6.547,3 |
| N ₂ O | 186,4 | 242,6 | 305,1 | 324,2 | 340,8 | 348,4 | 360,3 |
| Total | 1.519,0 | 2.742,6 | 4.133,6 | 5.095,1 | 6.106,6 | 6.515,7 | 6.957,6 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 179. Sector Residuos: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.1.3. Aspectos metodológicos generales del sector

Para la estimación de las emisiones de GEI del sector *Residuos* se aplicó el método Nivel 1 y de Nivel 2 propuestos por las *Directrices del IPCC de 2006*. Se destaca que se estimó por primera vez la subcategoría 5.C *Incineración abierta de residuos* con metodología de Nivel 1. Adicionalmente se pasó a Nivel 2 en las subcategorías de 5.A. *Disposición de residuos sólidos*, y 5.D. *Tratamiento y descarga de aguas residuales*, al usar información país específica para algunos parámetros como la composición de residuos, los factores de corrección de metano (MCF) para SDRS, DBO para aguas domiciliarias e industriales, además de información nacional para la proporción de utilización de tipos de SDRS y tipos de descarga y tratamiento. En la Tabla 377 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por GEI.

Tabla 377. Sector Residuos: métodos aplicados por categoría

| Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CO ₂ | | CH ₄ | | N ₂ O | |
|--|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión | Método aplicado | Factor de emisión |
| 5. Residuos | T1 | D | T1, T2 | D, CS | T1, NE | D, NE |
| 5.A. Disposición de residuos sólidos | | | T2 | D, CS | | |
| 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos | | | T1 | D | T1 | D |
| 5.C. Incineración y quema abierta de residuos | T1 | D | T1 | D | T1 | D |
| 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales | | | T2 | D, CS | T1 | D |
| 5.E. Otros | | | | | | |

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre
Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

El cálculo de las emisiones para todas las subcategorías se realizó en planillas Excel desarrolladas por el Equipo Técnico de Residuos del MMA.

7.1.4. Datos de actividad del sector

En el sector *Residuos* los datos de actividad están relacionados con estadísticas públicas (residuos generados, aguas residuales generadas, etc.). Sin embargo, muchos de ellos debieron ser estimados dada la ausencia de valores para los primeros años de la serie. El detalle de los datos de actividad utilizados se podrá encontrar en las secciones correspondientes a cada categoría.

7.1. Disposición de residuos sólidos (5.A.)

7.1.1. Descripción de la categoría

El tratamiento y la eliminación de los residuos sólidos municipales, industriales y otros generan cantidades significativas de CH₄. Además del CH₄, los SDRS producen también CO₂ biogénico y COVDM, así como cantidades más pequeñas de N₂O, NO_x y CO. Las subcategorías incluidas dependen de las características de los sitios de disposición, donde los SDRS que existen a nivel nacional han sido homologados a los de las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.1; Capítulo 3; Volumen 5), como se muestra en la Tabla 378. A diferencia del inventario anterior los Vertederos se clasifican como *Sitio No gestionado* mientras que anteriormente se clasificó como *No categorizado*, sin embargo, de acuerdo con las *Directrices del IPCC 2006* esta categoría se utiliza solo cuando no

se conocen las características de los sitios como para poder clasificarlos. Las diferencias entre basurales y Vertederos se ven reflejadas en los distintos MCF utilizados en la estimación determinados por criterio experto.

Tabla 378. 5.A. Disposición de residuos sólidos: Homologación tipos de SDRS a nivel nacional según las Directrices del IPCC de 2006

| Subcategoría | Normativa de cumplimiento | Homologación Directrices del IPCC de 2006 |
|-------------------------|--|--|
| 5.A.1 Relleno Sanitario | Cumple con la legislación vigente, DS N° 189/2008 del MINSAL: Reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios. | <i>Sitio Gestionado</i> (Se asimila con sitio gestionado anaeróbico) |
| 5.A.2 Basural | No cumple con normativa | <i>Sitio No Gestionado</i> (Se asimila con sitio No gestionado – poco profundo, < 5m de residuos) |
| 5.A.3 Vertedero | Cumple con la Res. N° 2.444/1980 del MINSAL: Normas sanitarias mínimas para la operación de basurales. | <i>Sitio No Categorizado</i> |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.1.2. Tendencia de las emisiones de GEI

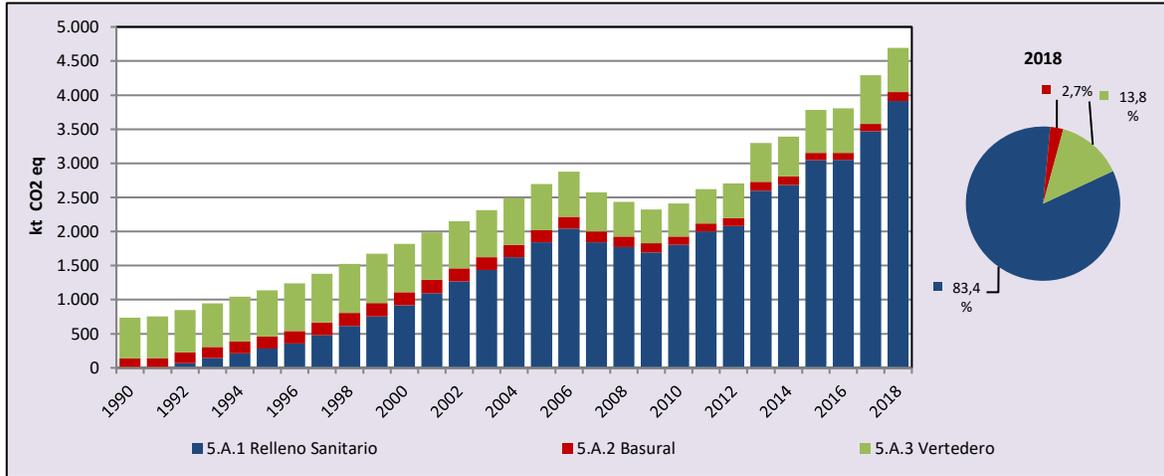
La categoría *Disposición de residuos sólidos* es la principal categoría emisora de GEI del sector Residuos representando el 67 % de las emisiones de GEI del sector. En 2018, las emisiones de GEI contabilizaron 4.692 kt CO₂ eq, incrementándose en un 540 % desde 1990 y en un 23 % desde 2016 (Tabla 379 y Figura 180.). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es el crecimiento de población y su modelo de consumo y, por lo tanto, la generación de residuos. A esto se suma el mejoramiento en la gestión de los residuos, aumentando la cantidad de residuos que se disponen en sitios como Rellenos Sanitarios, que por sus características anaeróbicas generan más metano que los Vertederos y Basurales. En 2018 se llegó a disponer el 81 % de los RSM en Rellenos sanitarios mientras que un 17 % en Vertederos y un 2 % restante en Basurales. Esto se ve reflejado en la Figura 180, en que para el 2018 las emisiones de la subcategoría *Rellenos sanitarios* es la de mayor relevancia con un 83 %, seguida de un 14 % de *Vertederos* y un 3 % de *Basurales*, mientras que en 1990 la participación de Rellenos Sanitarios era nula.

Tabla 379. 5.A. Disposición de residuos sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-------------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 5.A.1 Relleno Sanitario | 0,0 | 919,5 | 1.804,4 | 2.596,4 | 3.052,7 | 3.471,9 | 3.914,6 |
| 5.A.2 Basural | 140,6 | 190,9 | 121,0 | 130,2 | 102,3 | 105,1 | 128,5 |
| 5.A.3 Vertedero | 593,0 | 706,9 | 486,7 | 571,5 | 652,3 | 716,0 | 648,8 |
| Total | 733,6 | 1.817,3 | 2.412,1 | 3.298,2 | 3.807,3 | 4.292,9 | 4.691,9 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

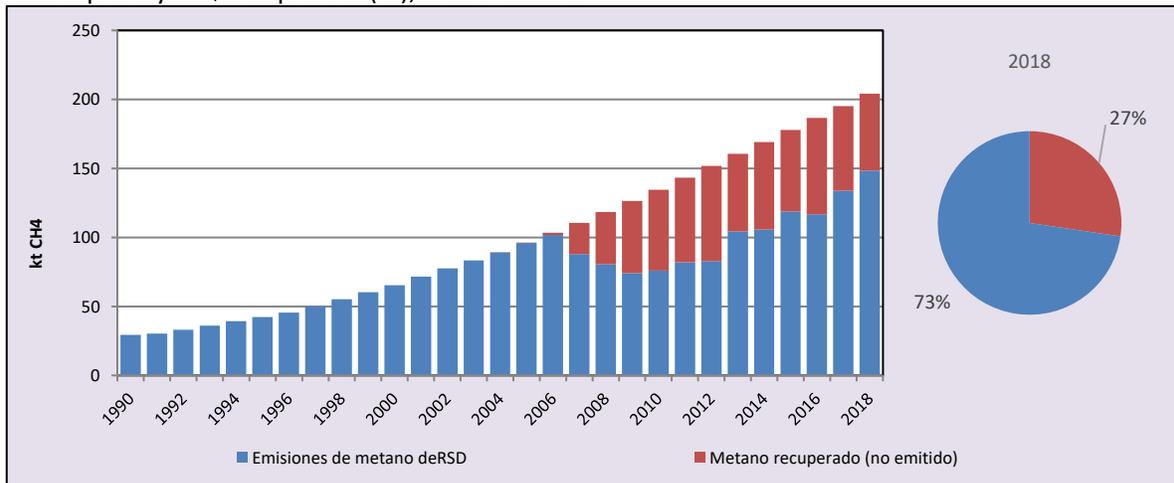
Figura 180. 5.A. Disposición de residuos sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Se observa que desde 2006 en adelante hay una reducción en la tendencia que se debe a la recuperación de CH₄ en algunos rellenos sanitarios del país, sin embargo, esta práctica no siguió aumentando a pesar de que la normativa lo recomienda (D.S. 189). Esto se explica por la baja en el precio de los CER desde los proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). En consecuencia, desde 2013 las emisiones de GEI volvieron a aumentar. Sin embargo, esta alza no es marcada, ya que, a partir del 2013, en algunos SDRS se inicia la captura de metano para la generación de energía eléctrica, que desacelera este crecimiento. Esto se puede observar con mayor claridad en la Figura 181 donde se muestran las emisiones de CH₄ generadas por los SDRS sin descontar el recuperado.

Figura 181. 5.A. 5.A. Disposición de residuos sólidos: emisiones de CH₄ de residuos sólidos municipales y CH₄ recuperado (kt), serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Los residuos industriales son otra variable relevante ya que aportan con materia orgánica. Sin embargo, las empresas que lo hacen reportan los datos solo desde 2015, provocando una gran incertidumbre en la serie de datos. Los sectores industriales que agregan carga orgánica en sitios de disposición final a través de sus residuos y sus lodos, representaron el 12 % de las emisiones de la categoría para el 2018 y son principalmente por la industria del papel y la celulosa, alimentos y la

construcción. Por último, los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas eliminados en sitios de disposición final, comenzaron a producirse en mayor magnitud desde 2003 lo que agrega material orgánico significativo aumentando la generación de metano llegando a representar el 8,8 % en 2018 (Figura 182).

Figura 182. 5.A. Disposición de residuos sólidos: emisiones de CH₄ por tipo de residuos sólido depositado.



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.1.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de emisiones de GEI de la categoría se utilizó una metodología de Nivel 2 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, significando una mejora respecto al inventario anterior en que se utilizó el Nivel 1. La estimación se basa en la misma metodología, pero utiliza datos de actividad históricos y algunos parámetros país específicos. La metodología está basada en el modelo First Order Decay (FOD), el cual considera un factor exponencial que describe la fracción de material degradable que se descompone cada año en CH₄ y CO₂.

Se desagregó el territorio nacional en dos macrozonas climáticas para establecer diferenciación de las condiciones en la degradación de residuos. La macrozona Norte -correspondiente a las regiones entre Arica y Parinacota y del Libertador General Bernardo O'Higgins- se clasificaron como Boreal y templada Seco según las opciones de zonas climáticas de las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.3.; Capítulo 3; Volumen 5). La macrozona Sur -que abarca las regiones desde Maule a Magallanes- se clasificó como Boreal y templada Húmedo. La estimación se realizó a nivel regional y luego se agregó para obtener el total nacional.

El cálculo del potencial de CH₄ fue estimado sobre la base de las cantidades de residuos y las prácticas de gestión en los sitios de disposición final, donde se utilizaron valores a partir de estimaciones e información levantada a nivel nacional.

Además se utilizaron ecuaciones de descomposición de primer orden para calcular el *DDOC_m* acumulado en los SDRS y *DDOC_m* descompuesto, ambos al final del año T. Considerando que no es pertinente determinar la cantidad de metano el año en que el residuo fue dispuesto, ya que es irrelevante en cuanto a la cantidad de metano generado, lo que cuenta es la masa total del material

en descomposición, por lo que se utiliza el supuesto de que la reacción de descomposición comienza el 1° de enero del año siguiente a la disposición.

Finalmente, las emisiones de metano anuales procedentes de la disposición de residuos sólidos, se estimaron a través de la Ecuación 3.1; Capítulo 3; Volumen 5; *Directrices del IPCC de 2006*, la cual considera la diferencia entre la sumatoria del metano generado por diversos tipos de residuos eliminados (RSM y lodos de tratamiento de aguas domiciliarias) y la cantidad de metano recuperado desde los SDRS. La ecuación también considera parte del metano que no es recuperado desde la capa externa de los SDRS, la cual queda sujeta a oxidación, donde el valor utilizado para el factor de oxidación es 0, según los valores por defecto propuesto por las *Directrices del IPCC de 2006* para los tipos de SDRS que existen a nivel nacional.

7.1.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

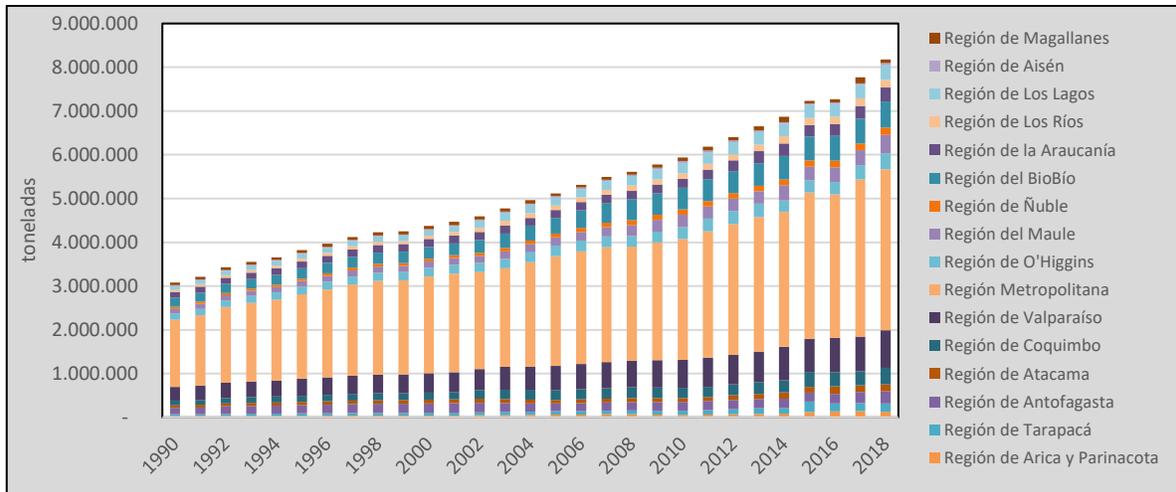
Los datos de actividad considerados abarcan tres orígenes para los residuos sólidos depositados en sitios de disposición final: Residuos sólidos municipales, Residuos industriales y lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS). Además del metano recuperado en los SDRS.

La disposición de Residuos sólidos municipales anual en sitios de disposición final por región se determinó de acuerdo con las siguientes fuentes:

- 2014 a 2018: Datos levantados por el Sistema Nacional de Declaración de Residuos no Peligrosos (SINADER). Estos datos pasaron por una revisión que consistió en estimar producción de residuos per cápita por comuna y homogeneizar los valores fuera del rango esperado (menos a 0,3 y mayor a 3, de acuerdo con criterio de la Oficina de Economía circular del MMA)
- 2012 y 2013: Interpolación lineal entre 2011 y 2014 por región.
- 2001 a 2011: información levantada en estudio “Ajuste del Catastro de Residuos Sólidos Municipales, Serie Temporal 1990/2012” que reunió datos para los años 2000 a 2011 y realizó ajustes estadísticos para proporcionar consistencia a la serie. Este estudio se basa en datos levantados entre 2000 y 2006, por el Ministerio del Medio Ambiente (ex CONAMA), en que elaboró anualmente un catastro de la disposición final de residuos sólidos municipales sin mayor verificación a excepción de los datos del 2006. Luego en 2009 se realizó una encuesta y se publicaron los resultados en el “Primer reporte sobre manejo de residuos sólidos en Chile”. En 2012 el MMA solicitó a las municipalidades informar sobre las cantidades de residuos depositados en 2010 y 2011, que fueron revisados y corregidos.
- 1950-2000: Estimación a partir de la tasa de crecimiento de residuos que calcula modelo del Banco Mundial, What a Waste 2.0 (2018), a partir de la población y PIB del país, a diferencia del inventario anterior en que se extrapola solo en base a la población.

El resultado para la serie 1990 a 2018 se observa en la siguiente figura y los datos se encuentran en el Anexo 10.01.

Figura 183. 5.A. Disposición de residuos sólidos: Residuos municipales depositados en sitios de disposición final (t) por región, serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Para obtener la serie de tiempo de fracción de residuos eliminados por tipo de sitio de disposición final, se utilizaron los catastros de SUBDERE de 2012, 2014 y 2017 y datos del MMA de 2010 y 2011. Con estos se construyó una serie de tiempo de cantidad de residuos depositados en cada sitio de disposición final. Luego cada sitio de disposición final se clasificó según si tenía aprobada su Resolución de calificación ambiental y autorización sanitaria en Relleno sanitario, Vertedero y Basural. Adicionalmente, de acuerdo con criterio experto, los Rellenos sanitarios se separaron en anaeróbicos y semiaeróbicos según si se depositaban más de 100 t diarias para el primer caso y menos de 100 t diarias para el segundo. Para completar la serie entre 1990 y 2009 se consideraron los datos de 2010 de residuos depositados en cada sitio de disposición final. Adicionalmente se utilizaron los años de obtención de Resolución de calificación ambiental y autorización sanitaria para marcar el inicio en que se comienza a operar cada sitio como Relleno sanitario o Vertedero. Finalmente, para considerar los residuos orgánicos remanentes de un Vertedero cuando pasa a ser Relleno Sanitario, se adelantó el inicio de operación de estos últimos en la mitad del tiempo de vida de los residuos orgánicos, es decir 6 años para la macrozona norte y 2 años para la macrozona sur. Los resultados obtenidos aplicados al total de residuos depositados se observan en la Tabla 380 y Figura 184 y a nivel regional en el Anexo 10.01.

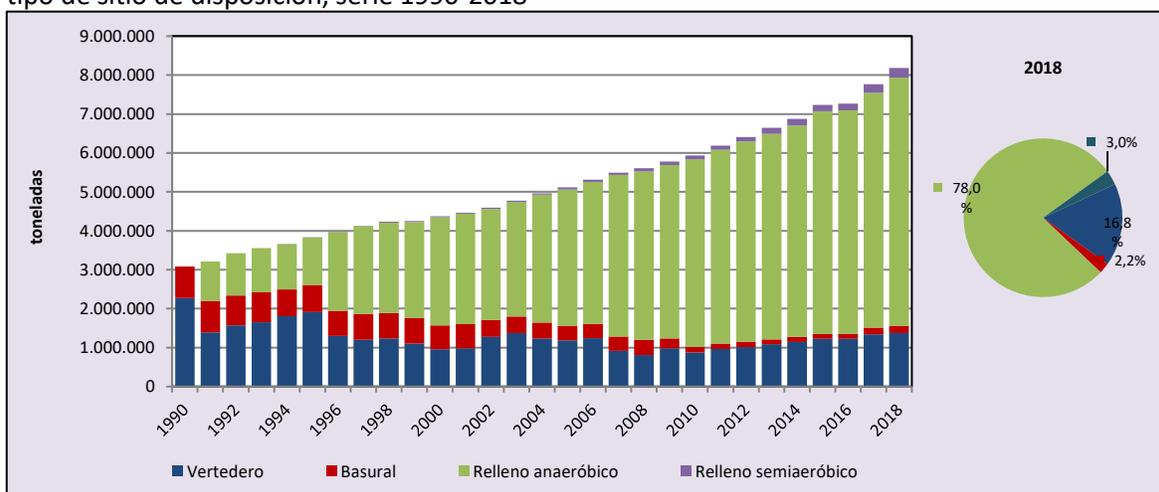
Tabla 380. 5.A. Disposición de residuos sólidos: Disposición de residuos sólidos municipales (t) por tipo de sitio de disposición, serie 1990-2018

| RSM (t) | Vertedero | Basural | Relleno anaeróbico | Relleno semiaeróbico | Total |
|---------|-----------|---------|--------------------|----------------------|-----------|
| 1990 | 2.269.799 | 807.890 | 0 | 0 | 3.077.689 |
| 1991 | 1.392.530 | 804.309 | 1.015.494 | 0 | 3.212.333 |
| 1992 | 1.573.976 | 761.958 | 1.091.355 | 0 | 3.427.289 |
| 1993 | 1.649.286 | 771.652 | 1.131.642 | 0 | 3.552.580 |
| 1994 | 1.805.131 | 686.116 | 1.165.294 | 899 | 3.657.440 |
| 1995 | 1.916.812 | 687.304 | 1.218.814 | 940 | 3.823.871 |
| 1996 | 1.301.684 | 644.145 | 2.016.514 | 4.532 | 3.966.874 |
| 1997 | 1.205.417 | 655.875 | 2.257.426 | 4.888 | 4.123.607 |
| 1998 | 1.238.332 | 652.572 | 2.315.964 | 23.244 | 4.230.112 |
| 1999 | 1.101.046 | 654.352 | 2.466.711 | 28.573 | 4.250.682 |
| 2000 | 959.493 | 613.208 | 2.772.648 | 29.384 | 4.374.733 |
| 2001 | 979.423 | 623.234 | 2.833.656 | 29.987 | 4.466.300 |
| 2002 | 1.273.619 | 434.677 | 2.855.469 | 32.735 | 4.596.500 |

| RSM (t) | Vertedero | Basural | Relleno anaeróbico | Relleno semiaeróbico | Total |
|---------|-----------|---------|--------------------|----------------------|-----------|
| 2003 | 1.374.736 | 422.489 | 2.946.903 | 32.872 | 4.777.000 |
| 2004 | 1.231.175 | 412.449 | 3.287.549 | 32.927 | 4.964.100 |
| 2005 | 1.188.437 | 365.713 | 3.504.193 | 55.357 | 5.113.700 |
| 2006 | 1.241.932 | 370.751 | 3.640.797 | 57.420 | 5.310.900 |
| 2007 | 917.600 | 364.936 | 4.151.079 | 59.285 | 5.492.900 |
| 2008 | 813.105 | 386.180 | 4.324.520 | 84.196 | 5.608.000 |
| 2009 | 981.302 | 253.888 | 4.456.366 | 87.943 | 5.779.500 |
| 2010 | 876.749 | 142.878 | 4.815.660 | 100.412 | 5.935.700 |
| 2011 | 961.540 | 144.852 | 4.972.199 | 105.241 | 6.183.831 |
| 2012 | 1.010.437 | 139.321 | 5.146.234 | 109.697 | 6.405.689 |
| 2013 | 1.090.328 | 122.648 | 5.278.380 | 155.608 | 6.646.964 |
| 2014 | 1.145.169 | 128.513 | 5.424.011 | 171.914 | 6.869.606 |
| 2015 | 1.228.557 | 118.329 | 5.720.461 | 162.373 | 7.229.720 |
| 2016 | 1.224.813 | 122.277 | 5.743.157 | 176.613 | 7.266.860 |
| 2017 | 1.339.562 | 171.904 | 6.031.955 | 223.211 | 7.766.632 |
| 2018 | 1.376.231 | 180.742 | 6.376.642 | 243.832 | 8.177.448 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 184. 5.A. Disposición de residuos sólidos: Disposición de residuos sólidos municipales (t) por tipo de sitio de disposición, serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Para la composición de residuos sólidos municipales (RSM), a diferencia del inventario anterior, se utilizaron datos país específicos recopilados desde el Informe de SUBDERE 2017 “Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSM y Asimilables”⁸⁴. Este informe recopila información de varios estudios realizados en el país en distintas comunas y para distintos años. En base a estos, se obtuvo una composición porcentual por tipo de residuo. Para disminuir la incertidumbre asociada a la variabilidad de los datos recopilados desde distintas fuentes, se utilizaron promedios ponderados macrozonales (Norte, RM y Sur) de los porcentajes de cada tipo de residuo generado por comuna, por su población. La composición de RSM levantada, se mantuvo constante durante toda la serie 1950 a 2018, ya que no se cuenta con mejor información para conocer la variación temporal. Los resultados se compararon con la composición por defecto para

⁸⁴ <http://www.subdere.gov.cl/content/l%C3%ADnea-base-diagn%C3%B3stico-y-catastro-de-rsd-a%C3%B1o-2017>

países de Sudamérica, correspondiente al *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, donde la variación entre ambas fuentes para materia orgánica fue de 1,6 % como se observa en la Tabla 381.

Tabla 381. 5.A. Disposición de residuos sólidos: Composición de residuos sólidos domiciliarios (%) país específicos y por defecto del *Refinamiento del IPCC de 2019*

| Composición de RSM en base a Catastro Subdere 2017 | Materia orgánica | Papel y Cartón | Plástico | Vidrio | Metal | Otros Residuos (*) |
|---|------------------|----------------|-------------|------------|------------|--------------------|
| Macrozonas | % | % | % | % | % | % |
| Norte | 56,6 | 10,6 | 12,0 | 3,0 | 1,9 | 15,2 |
| Región Metropolitana | 56,7 | 12,3 | 10,7 | 3,8 | 1,0 | 15,4 |
| Sur | 56,0 | 10,9 | 11,0 | 2,4 | 2,0 | 17,5 |
| País | 56,5 | 11,4 | 11,1 | 3,2 | 1,5 | 15,9 |
| IPCC, 2019 Refinements con clasificación Subdere | 57,4 | 12,4 | 13,7 | 3 | 2 | 11,5 |

*Otros residuos para datos Subdere considera: productos sanitarios 30%; textiles 12%; madera 15%, suciedad y cenizas 25% y otros no orgánicos 18%.

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Adicionalmente en esta actualización del inventario se incluyeron residuos industriales. Los datos de actividad se obtuvieron de SINADER para los años 2015 a 2018 (Tabla 383). El SINADER comienza a operar el 2014, sin embargo, los datos para este año no se incluyeron ya que difieren de las cifras para el resto de los años reportados, lo cual se atribuye a una baja participación de empresas en el levantamiento de información. Para extrapolar la serie se utilizó el PIB de la industria agropecuaria (Tabla 382), que representa a las principales empresas generadoras de residuos orgánicos en el país.

Tabla 382. 5.A. Disposición de residuos sólidos: PIB anual industria agropecuaria, precios corrientes en dólares, de CEPAL⁸⁵ serie 1990-2018.

| Año | PIB Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca (Millones de dólares) |
|------|--|
| 1990 | 2300,2 |
| 1991 | 2953,9 |
| 1992 | 3550,9 |
| 1993 | 3290,6 |
| 1994 | 3518,2 |
| 1995 | 4206,2 |
| 1996 | 4249,8 |
| 1997 | 4619,2 |
| 1998 | 4653,4 |
| 1999 | 4237,5 |
| 2000 | 4186,5 |
| 2001 | 3129,5 |
| 2002 | 3093,0 |
| 2003 | 3370,0 |
| 2004 | 4031,7 |
| 2005 | 5083,2 |
| 2006 | 6001,3 |
| 2007 | 6441,7 |
| 2008 | 6665,9 |
| 2009 | 6449,4 |

| Año | PIB Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca (Millones de dólares) |
|------|--|
| 2010 | 7902,1 |
| 2011 | 9260,7 |
| 2012 | 8827,8 |
| 2013 | 9414,6 |
| 2014 | 9722,8 |
| 2015 | 8875,9 |
| 2016 | 9997,2 |
| 2017 | 10782,1 |
| 2018 | 10863,9 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA, en base a estadísticas CEPAL.

En los datos de SINADER, además de reportar el tipo de industria, y la cantidad de residuos generados, se reporta la región, el tipo de residuos (de acuerdo con códigos de la Lista Europea de Residuos, LER) y el tipo de tratamiento. En el tipo de tratamiento se define el tipo de sitio en que se dispone, o bien, si se valoriza como reciclaje, incineración, compostaje, entre otros. Para obtener las cifras de residuos industriales se consideraron los siguientes criterios:

- Se consideran solo los residuos que tienen como destino Rellenos Sanitarios, Mono rellenos, Vertederos o Basurales.
- No se consideraron residuos de estiércol ya que sus emisiones se estiman en el sector Agricultura.
- Los lodos por tratamiento de aguas residuales de las industrias agrícolas y de pulpa y papel, dadas sus características, se trabajan como una categoría distinta a los residuos de la industria agrícola y de pulpa y papel
- Para residuos de construcción solo se consideraron los clasificados como madera y residuos mezclados.
- Los residuos clasificados como “Residuos de cantería y tierras”, que representan un porcentaje importante de los residuos industriales totales reportados, no se consideran ya que no contienen material orgánico.
- Adicionalmente se hizo una revisión de la información editando los datos que fueran de más de 2 órdenes de magnitud según lo reportado por la misma empresa en otros años, suponiendo un error en las unidades reportadas.
- A modo de verificación se analizaron los datos a nivel regional. Se observa que las regiones del Biobío y la Araucanía presentan altos niveles de residuos de la industria de la Pulpa y papel lo que coincide con la ubicación de las plantas más grandes de esta industria a nivel nacional. Por otro lado, la RM también presenta una alta generación de residuos industriales lo que también coincide con la actividad industrial en esta región.

Cabe destacar que por la escasa verificación de datos por parte de SINADER, ya que no siempre reportan las mismas empresas, se tiene un alto nivel de incertidumbre. Esto sugiere que los niveles de generación de residuos industriales pueden ser potencialmente mayores. Adicionalmente cabe destacar, que no se consideran los sitios de disposición final que son propios de cada industria. Se incluye al plan de mejora para futuros inventarios la verificación de los datos con representantes de las principales industrias.

Tabla 383. 5.A. Disposición de residuos sólidos: Disposición de residuos industriales (t) por industria y por sitio de disposición final, serie 2015-2018

| Sector industrial | Sitio de disposición final | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|----------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Alimentos, bebidas y tabaco (otros que lodo) | Relleno sanitario | 222.483 | 172.596 | 179.578 | 130.907 |
| | Vertedero | 196.242 | 214.827 | 100.830 | 101.155 |
| | Basural | 2 | 33 | 1.132 | 2.465 |
| lodos agrícolas y pulpa y papel | Relleno sanitario | 179.974 | 138.081 | 116.645 | 135.941 |
| | Vertedero | 195.961 | 223.916 | 329.186 | 126.490 |
| | Basural | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Textiles | Relleno sanitario | 33.918 | 9.202 | 9.677 | 6.252 |
| | Vertedero | 954 | 309 | 1.439 | 1.038 |
| | Basural | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pulpa y papel (otros que lodo) | Relleno sanitario | 73.446 | 60.500 | 48.745 | 72.298 |
| | Vertedero | 126.557 | 195.921 | 98.335 | 117.681 |
| | Basural | 0 | 33 | 6 | 0 |
| Construcción y demolición | Relleno sanitario | 207.057 | 198.208 | 103.698 | 167.089 |
| | Vertedero | 39.945 | 106.443 | 152.677 | 77.092 |
| | Basural | 1.431 | 63.429 | 61.390 | 92.822 |
| otros | Relleno sanitario | 56.894 | 100.107 | 25.165 | 21.944 |
| | Vertedero | 6.265 | 6.105 | 9.190 | 4.155 |
| | Basural | 2.365 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Adicionalmente a los RSM y a los Residuos industriales, se suman los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas. Los datos de actividad se obtienen de información levantada por la SMA como se describe en la sección 7.4.4.3.1 y se muestran en la Tabla 412. Adicionalmente se sabe que un porcentaje de este lodo es utilizado en aplicación al suelo, sin embargo, por falta de datos se supone que todo es depositado en sitios de disposición final. Este supuesto está en línea con lo considerado en el sector *Agricultura*.

Por otra parte, la cantidad de metano recuperado, corresponden a valores recopilados desde cada uno de los SDRS que llevan a cabo esta práctica a nivel nacional, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 384. 5.A. Disposición de residuos sólidos: metano recuperado (kt CH₄/año), serie 1990-2018

| Año | Metano recuperado (kt CH ₄ /año) |
|------|---|
| 1990 | 0,2 |
| 1991 | 0,2 |
| 1992 | 1,5 |
| 1993 | 22,5 |
| 1994 | 37,9 |
| 1995 | 52,5 |
| 1996 | 58,6 |
| 1997 | 61,2 |
| 1998 | 69,0 |
| 1999 | 56,3 |
| 2000 | 63,4 |
| 2001 | 59,1 |

| Año | Metano recuperado (kt CH ₄ /año) |
|------|---|
| 2002 | 69,8 |
| 2003 | 61,4 |
| 2004 | 55,8 |
| 2005 | 0,2 |
| 2006 | 0,2 |
| 2007 | 1,5 |
| 2008 | 22,5 |
| 2009 | 37,9 |
| 2010 | 52,5 |
| 2011 | 58,6 |
| 2012 | 61,2 |
| 2013 | 69,0 |
| 2014 | 56,3 |
| 2015 | 63,4 |
| 2016 | 59,1 |
| 2017 | 69,8 |
| 2018 | 61,4 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Respecto a los datos paramétricos necesarios, estos fueron obtenidos de las *Directrices del IPCC de 2006*, por defecto (Tabla 385). Todos los DOC (fracción de carbono orgánico degradable contenido en los residuos) son en fracción de peso húmedo. Para el DOC de lodos generados desde Plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) y Plantas de Tratamiento de Aguas Industriales se consideró una humedad del 75% y para la fracción de Otros de RSM se consideró un 30% de productos sanitarios, 12% de textiles y 15% de madera.

Tabla 385. 5.A. Disposición de residuos sólidos: datos paramétricos.

| Dato | Valor |
|---|-------|
| Fracción del carbono orgánico degradable que se descompone (DOCf) | 0,50 |
| Fracción de metano (F) en gas generado | 0,50 |
| Carbono orgánico degradable (DOC) RSM, fracción Residuos orgánicos | 0,15 |
| Carbono orgánico degradable (DOC) RSM, fracción Papel, cartón | 0,40 |
| Carbono orgánico degradable (DOC) RSM, fracción Otros | 0,17 |
| Carbono orgánico degradable (DOC) RSM, fracción lodos | 0,13 |
| Carbono orgánico degradable (DOC) industria alimentos | 0,15 |
| Carbono orgánico degradable (DOC) industria lodos | 0,06 |
| Carbono orgánico degradable (DOC) industria textiles | 0,24 |
| Carbono orgánico degradable (DOC) industria pulpa y papel | 0,40 |
| Carbono orgánico degradable (DOC) industria construcción | 0,04 |
| Carbono orgánico degradable (DOC) industria otros | 0,01 |
| Índice de generación de metano (k), boreal y templado seco, Residuos Orgánicos | 0,06 |
| Índice de generación de metano (k), boreal y templado seco, Papel Cartón | 0,04 |
| Índice de generación de metano (k), boreal y templado seco, otros (desechos brutos) | 0,05 |
| Índice de generación de metano (k), boreal y templado seco, lodos | 0,06 |
| Índice de generación de metano (k), boreal y templado húmedo, Residuos Orgánicos | 0,19 |
| Índice de generación de metano (k), boreal y templado húmedo, Papel Cartón | 0,06 |
| Índice de generación de metano (k), boreal y templado húmedo, otros (desechos brutos) | 0,09 |
| Índice de generación de metano (k), boreal y templado húmedo, lodos | 0,19 |

Fuente: Sección 3.2.3.; Capítulo 3; y Sección 2.3; Capítulo 2; Volumen 5; *Directrices del IPCC de 2006*.

7.1.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión para CH₄ de los SDRS usados para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría fueron estimados en base a criterio experto,^[1] de acuerdo con ciertas condiciones como disposición de residuos controlada o incontrolada, cantidad de residuos recepcionados, densidad de compactación, cantidad de materia orgánica y humedad. La clasificación y valores utilizados se encuentran en la Tabla 386.

Tabla 386. 5.A. Disposición de residuos sólidos: factores de corrección de metano (MCF)

| Tipo de SDRS | Descripción | Normativa Nacional | Factor de Corrección de Metano (MCF) |
|--------------------------------|---|--|--------------------------------------|
| Relleno Sanitario anaeróbico | Disposición controlada de residuos, recepción de residuos mayor a 100 t/d, densidad superior a 600 kg/m ³ , 60-70% de materia orgánica, humedad superior al 40%. | Cuentan con RCA y autorización sanitaria (Resolución N°2444 del MINSAL). | 1,0 |
| Relleno Sanitario semiaeróbico | Disposición controlada de residuos, recepción de residuos menor a 100 t/d, densidad menor a 600 kg/m ³ , 60-70% de materia orgánica, 30-40% humedad. | Cuentan con RCA y autorización sanitaria (Resolución N°2444 del MINSAL). | 0,8 |
| Vertedero | Tienen comportamiento errático con baja generación de CH ₄ . | Cuentan con autorización sanitaria (Resolución N°2444 del MINSAL). | 0,30 |
| Basural | Disposición incontrolada de residuos, prácticamente, es aerobio, sin generación de CH ₄ . | No cuenta con RCA, ni autorización sanitaria (Resolución N°2444 del MINSAL). | 0,20 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.1.4. Incertidumbre

La incertidumbre de esta categoría se calculó por separado, por un lado, las emisiones estimadas de residuos sólidos municipales (RSM) y por otro las de residuos industriales, por el hecho de que utilizan distintas fuentes para los datos de actividad. La incertidumbre combinada de RSM de esta categoría es de -54,7 % y +71,3 % y de residuos industriales de -63 % y +500 %. En general no se cuenta con información nacional sobre incertidumbre de los datos de actividad, factores de emisión y parámetros utilizados en el cálculo, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.5; Capítulo 3; Volumen 5). Para el límite superior de la incertidumbre de residuos industriales se consideró el total de toneladas reportadas como límite superior del rango de incertidumbre. Por otro lado, la incertidumbre del valor de los DOC y los MCF disminuyó respecto al inventario anterior, debido a que en esta actualización se utilizaron valores país específicos. Para combinar la incertidumbre de la categoría se realizaron los cálculos que se explican a continuación.

Para combinar las incertidumbres de los datos de actividad, parámetros y factores de emisión se consideró que el modelo FOD (ver Aspectos metodológicos de la categoría) combina las

[1] Marcel Szanto Narea, Director Grupo de Residuos Sólidos, Facultad de Ingeniería Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

incertidumbres como si las variables se estuvieran multiplicando, por lo que se utilizó la ecuación de combinación de incertidumbre método 1 para la multiplicación generando resultados para cada SEDS.

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre con las ecuaciones del método 1 mencionadas se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre*, junto al cuadro de cálculo, y los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

7.1.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Se realizaron los cambios y ajustes a los datos de actividad detallados en la sección 3.2.3.1. *supra*.

7.1.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

7.1.6.1. Verificación

Las actividades de verificación realizadas se asocian a la revisión de datos de actividad, comparando indicadores de generación de residuos per cápita en el tiempo por comuna, según se describe en la sección metodológica. También se verifican los parámetros país específicos utilizados con los valores por defecto del IPCC, también se descritos en la sección metodológica.

7.1.7. Recálculos

7.1.7.1. Justificación de los nuevos cálculos y mejoras

En esta actualización se realizaron varias mejoras de datos de actividad y factores de emisión que tienen un efecto en las emisiones estimadas, los principales cambios fueron:

- Extrapolación de la serie 1950 a 2000 utilizando PIB y población, a diferencia de actualizaciones anteriores que solo consideraban población.
- Composición de RSM país específico.
- MCF país específico.
- Se utilizaron datos de actividad del SINADER para los años 2014 a 2018.
- Se incluyeron Residuos sólidos industriales.
- Se utilizaron hojas de cálculo Excel para la estimación y cálculo de emisiones, reemplazando el uso del software del IPCC.

7.1.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

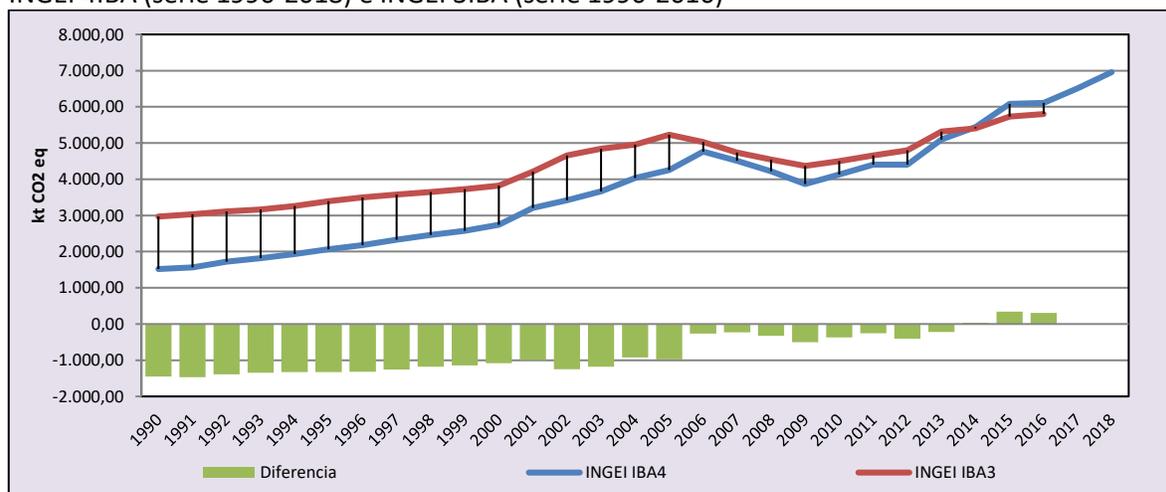
En la Tabla 387 y la Figura 185, se observa como variaron las emisiones de GEI de la subcategoría con respecto al inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia para los primeros años de la serie se debe a que el MCF de Vertederos y Basurales país específico es menor al valor por defecto y a que los valores para residuos totales generados históricamente estimados en base al PIB también son más bajos que los estimados en base a la población. Por otro lado, la incorporación de residuos industriales aumenta la cantidad de emisiones hacia el final de la serie.

Tabla 387. 5.A. Disposición de residuos sólidos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|---------|---------|
| INGEI IBA3 | 2.969,3 | 3.822,4 | 4.502,2 | 5.318,4 | 5.801,1 | | |
| INGEI IBA4 | 1.519,0 | 2.742,6 | 4.133,6 | 5.095,1 | 6.106,6 | 6.515,7 | 6.957,6 |
| Diferencia | -1.450,3 | -1.079,9 | -368,5 | -223,3 | 305,6 | | |
| Diferencia % | -95,5% | -39,4% | -8,9% | -4,4% | 5,0% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 185. 5.A. Disposición de residuos sólidos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.1.8. Plan de mejoramiento

- Cotejar con los principales representantes de la industria papelera y de la agroindustria los datos reportados a SINADER, incluyendo las características de los sitios de disposición utilizados.
- Comparar datos de generación de residuos del MMA con datos los catastros de Subdere.
- Corregir interpolación entre 2011 y 2014, ya que la interpolación se hizo con datos antiguos de 2014 y no con los de SINADER.
- Desarrollar un plan de trabajo entre SINADER, MMA y Subdere para encontrar la mejor forma de levantar datos y que estos sean consistentes.
- Revisar estructura del sector, en particular si Vertederos se deben reportar en 5.D.2 y no en 5.D.3.

7.2. Tratamiento biológico de los residuos sólidos (5.B.)

7.2.1. Descripción de la categoría

La categoría *Tratamiento biológico de residuos sólidos* corresponde a los procesos que afectan la cantidad y composición de los residuos, como la fabricación de compost y la digestión anaeróbica de los residuos orgánicos. Dichos procesos permiten la reducción del volumen, estabilización del residuo, y destrucción de agentes patógenos presentes. Además, en el caso de la digestión, permiten la producción de biogás para utilización energética. En el caso del compostaje el producto final puede utilizarse como fertilizante y abono en suelos, o bien, eliminarse en SDRS.

En el contexto nacional, al 2018, existen alrededor de 15 instalaciones o proyectos de compostaje a lo largo del país, existiendo una “Norma Chilena de calidad de compost” (NCh 2880 del INN).

7.2.2. Tendencia de las emisiones de GEI

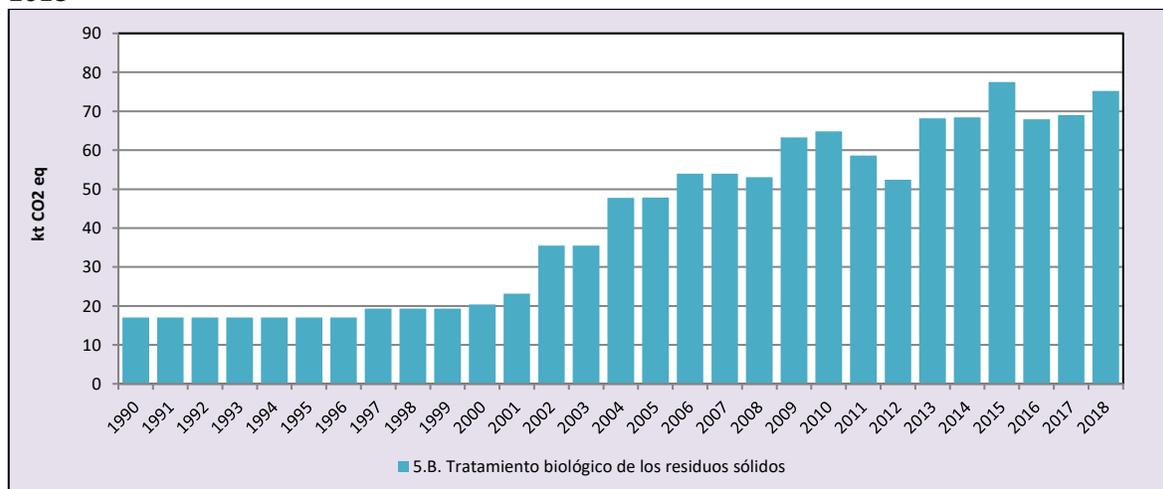
La categoría *Tratamiento biológico de los residuos sólidos* es la tercera categoría emisora de GEI del sector *Residuos* (1,1%). En 2018, sus emisiones de GEI contabilizaron 75 kt CO₂ eq, incrementándose en un 342 % desde 1990 y en un 11 % desde 2016 (Tabla 388 y Figura 186). La principal causante de la tendencia son los nuevos proyectos de compostaje a lo largo del país. Las variaciones interanuales se deben principalmente a la incorporación y al cierre de plantas de compostaje, según se deduce de las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA).

Tabla 388. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2018

| Categoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 5.B. Tratamiento biológico de los residuos sólidos | 17,0 | 20,4 | 64,8 | 68,2 | 67,9 | 69,0 | 75,3 |
| Total | 17,0 | 20,4 | 64,8 | 68,2 | 67,9 | 69,0 | 75,3 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 186. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.2.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría *Tratamiento biológico de residuos sólidos* se utilizó una metodología de Nivel 1 para las emisiones de CH₄ (Ecuación 4.1; Capítulo 4; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*); y N₂O (Ecuación 4.2; Capítulo 4; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*), con factores de emisión por defecto.

7.2.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad para esta categoría provienen de diversas fuentes: revisión de proyectos de compostaje y digestión anaeróbica aprobados por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)⁸⁶, datos de valorización de residuos obtenidos a partir de un informe⁸⁷ elaborado por la SUBDERE⁸⁸ y datos levantados desde 2014 a través de RETC⁸⁹, asociado al reporte SINADER⁹⁰. Los tipos de residuos que se compostan incluyen residuos de alimentos, residuos de jardines y parques, lodos de aguas residuales, restos vegetales de ferias libres y otros residuos orgánicos industriales. Los datos de gestión del estiércol que tienen como destino plantas de compostaje no se consideran ya que estos se contabilizan en el sector Agricultura. El resumen de datos se muestra en la Tabla 389.

Tabla 389. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: cantidad total de residuos en compostaje (t, base húmeda).

| Año | TOTAL (t) |
|------|-----------|
| 1990 | 90,0 |
| 1991 | 90,0 |
| 1992 | 90,0 |
| 1993 | 90,0 |
| 1994 | 90,0 |
| 1995 | 90,0 |
| 1996 | 90,0 |
| 1997 | 102,0 |
| 1998 | 102,0 |
| 1999 | 102,0 |
| 2000 | 107,5 |
| 2001 | 122,1 |
| 2002 | 187,4 |
| 2003 | 187,4 |
| 2004 | 252,2 |
| 2005 | 252,7 |
| 2006 | 285,0 |
| 2007 | 285,0 |
| 2008 | 280,2 |
| 2009 | 334,3 |
| 2010 | 342,3 |
| 2011 | 309,6 |
| 2012 | 276,9 |
| 2013 | 359,9 |
| 2014 | 361,4 |
| 2015 | 409,3 |
| 2016 | 358,7 |
| 2017 | 364,1 |
| 2018 | 397,3 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

⁸⁶ <https://www.sea.gob.cl/>

⁸⁷ <http://www.subdere.gov.cl/documentacion/diagn%C3%B3stico-y-catastro-de-rsd-%C3%B1o-2017>

⁸⁸ <http://www.subdere.gov.cl/>

⁸⁹ <https://datosretc.mma.gob.cl/group>

⁹⁰ SINADER: Sistema Nacional de declaración de Residuos), es un sistema de declaración vía portal web, que permitirá a los generadores y destinatarios de residuos (Industrias y Municipios) declarar, de acuerdo a las obligaciones que impone el Reglamento del RETC.

7.2.3.2. Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados para el cálculo de las emisiones de GEI fueron los valores por defecto proporcionados por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 4.1; Capítulo 4; Volumen 5), para el proceso de abono orgánico, el que es homologado al proceso de compostaje nacional (Tabla 390).

Tabla 390. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: factores de emisión.

| Proceso | GEI | Factor de emisión (g GEI/kg residuo tratado) |
|--------------------------|------------------|--|
| Abono orgánico (compost) | CH ₄ | 4,00 |
| Abono orgánico (compost) | N ₂ O | 0,30 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.2.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la categoría es de -190 % y de +316 %. En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que se consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.5; Capítulo 3, Volumen 5 para los datos de actividad y Cuadro 4.1; Capítulo 4; Volumen 5 para los factores de emisión). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 391.

Tabla 391. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: resumen de la incertidumbre combinada, 2013

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|---|------------------|---|--------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 5.B. | Tratamiento biológico de residuos sólidos | CH ₄ | 100,0% | 200,0% | 99,3% | 100,0% | 140,9% | 223,6% |
| 5.B. | Tratamiento biológico de residuos sólidos | N ₂ O | 100,0% | 200,0% | 80,0% | 100,0% | 128,1% | 223,6% |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

En conclusión, la mayor fuente de incertidumbre en las estimaciones de GEI de la categoría proviene de los datos de actividad.

7.2.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y se hizo una revisión histórica al incluir datos de distintas fuentes.

7.2.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

7.2.6.1. Verificación

Por el momento no se tienen datos de otras fuentes con los cuales se pueda comparar los resultados.

7.2.7. Recálculos

7.2.7.1. Justificación de los nuevos cálculos y mejoras

Se efectuó un recalcu asociado a la revisión de datos de actividad comprobando el funcionamiento de algunas plantas de compostaje y agregando datos levantados por SINADER.

7.2.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

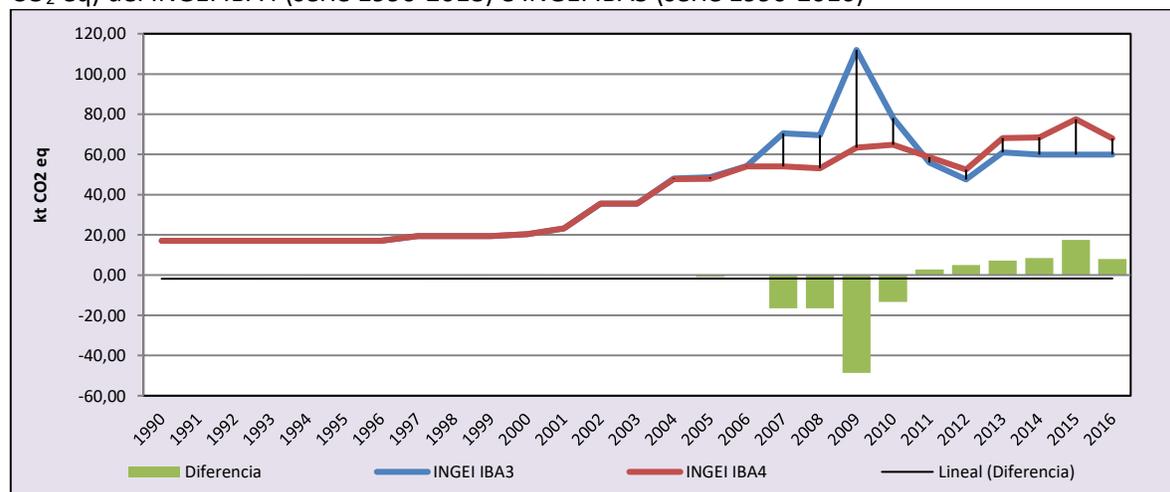
En la Tabla 392 y la Figura 187, se observa como variaron las emisiones de GEI de la subcategoría con respecto al inventario anterior (INGEI2016). Las diferencias se deben, tal como se señaló anteriormente, a los nuevos valores de PCG utilizados, los que en parte se contrarrestan ya que el del metano es mayor y el del óxido nitroso es menor.

Tabla 392. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA4 (serie 1990-2018) e INGEI IBA3 (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------|--------|
| INGEI IBA3 | 17,046 | 20,361 | 78,148 | 61,033 | 59,947 | | |
| INGEI IBA4 | 17,046 | 20,361 | 64,833 | 68,170 | 67,930 | 68,969 | 75,253 |
| Diferencia | 0,000 | 0,000 | -13,315 | 7,137 | 7,982 | | |
| Diferencia % | 0,0% | 0,0% | -20,5% | 10,5% | 11,8% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 187. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA4 (serie 1990-2018) e INGEI IBA3 (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.2.8. Plan de mejoramiento

Mejoras específicas para la presente subcategoría no se contemplan en la actualidad.

7.3. Incineración e incineración abierta de residuos (5.C.)

7.3.1. Descripción de la categoría

La categoría *Incineración e incineración abierta de residuos* incluye las emisiones de GEI que resultan de la combustión de residuos sólidos y líquidos sin recuperación de energía que apuntan a la combustión de materiales principalmente no deseados y específicamente la incineración abierta implica que el humo y otras emisiones se liberan directamente al aire o a través de dispositivos de incineración que no controlan el aire salida de la combustión. Las subcategorías incluidas son:

- 5.C.1. *Incineración de residuos*
- 5.C.2. *Incineración abierta de residuos*

De acuerdo con la normativa nacional, la incineración abierta de residuos es una práctica ilegal en Chile, por lo que no se cuenta con registros sobre cantidades incineradas. Sin embargo, se sabe que ocurren, por lo que la cantidad incinerada se estima en base a supuestos que se señalan más adelante. Por otro lado, se autoriza la eliminación de residuos hospitalarios mediante quema y la cremación de cadáveres y restos humanos.

7.3.2. Tendencia de las emisiones de GEI

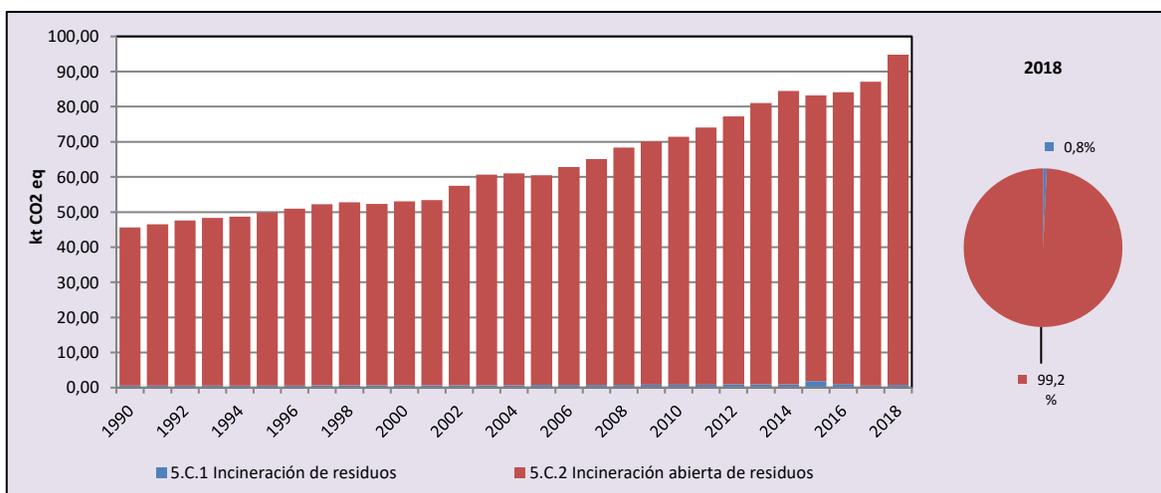
La categoría *Incineración e incineración abierta de residuos* es la segunda menor categoría que genera menos emisiones de GEI del sector *Residuos* (1,4 %). En 2018, sus emisiones de GEI contabilizaron 95 kt CO₂ eq, incrementándose en un 108 % desde 1990 y en un 13 % desde el 2016 (Tabla 393 y Figura 188). La principal causante del aumento de las emisiones de GEI de esta categoría es el aumento de los residuos generados per cápita en las zonas rurales. Cabe destacar que, para las emisiones de CO₂, solo se considera el carbono de origen fósil, ya que el proveniente de residuos orgánicos se considera biogénico.

Tabla 393. 5.C. Incineración e incineración abierta de residuos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2018.

| Categoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 5.C.1 Incineración de residuos | 0,574 | 0,655 | 0,842 | 0,914 | 1,057 | 0,577 | 0,725 |
| 5.C.2 Incineración abierta de residuos | 45,068 | 52,414 | 70,584 | 80,134 | 83,034 | 86,490 | 94,095 |
| Total | 45,642 | 53,069 | 71,426 | 81,048 | 84,091 | 87,068 | 94,821 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 188. 5.C. Incineración e incineración abierta de residuos: tendencia de las emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.3.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de ambas subcategorías *Incineración de residuos* e *Incineración abierta de residuos*, se utilizó una metodología de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* con factores de emisión y datos paramétricos por defecto.

7.3.4. Incineración de residuos (5.C.1.)

7.3.4.1. Descripción de la subcategoría

Esta categoría considera las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O generadas en la incineración controlada de residuos sin recuperación de energía. Los incineradores controlados poseen cámaras de combustión diseñadas para funcionar a altas temperaturas y producir una combustión más completa. Se incluyen desechos hospitalarios y una pequeña parte de desechos industriales.

7.3.4.2. Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría *Incineración de residuos* representa un 0,6 % de las emisiones de GEI de la categoría *Incineración e incineración abierta de residuos*. En el 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 0,7 kt CO₂ eq, incrementándose en un 26,3 % desde 1990 y disminuyendo en un 31,4 % desde 2016 (Tabla 393 y Figura 188). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es el uso de esta tecnología para la eliminación de residuos.

7.3.4.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CO₂, CH₄ y de N₂O de la subcategoría se utilizó una metodología de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* con factores de emisión por defecto.

Dióxido de carbono

Para la estimación de las emisiones de CO₂ se utiliza el método de Nivel 1, con base en la Ecuación 5.1; Capítulo 5; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

En el caso nacional, las emisiones de CO₂ solo consideran las procedentes de residuos hospitalarios, dado que las emisiones de CO₂ de residuos de cremación se consideran emisiones biogénicas.

Metano

Las emisiones de CH₄ se estiman siguiendo un método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. Las emisiones provenientes de la incineración son el resultado de una combustión incompleta. Los factores importantes que afectan las emisiones son la temperatura, el tiempo de residencia y proporción de aire respecto a la cantidad de residuos. La estimación considera la Ecuación 5.4; Capítulo 5; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Óxido nítrico

Las emisiones de N₂O se estiman siguiendo un método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. El N₂O se emite en los procesos de combustión a temperaturas de combustión relativamente bajas, entre 500 y 950 °C. Otros factores importantes que influyen en las emisiones son el tipo de dispositivos de control de los contaminantes del aire, el tipo y el contenido de nitrógeno de los residuos y la fracción de aire en exceso. La estimación considera Ecuación 5.5; Capítulo 5; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

7.3.4.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad para *Incineración de residuos* (5.C.1.) se recolectaron desde el sector privado en hospitales y cementerios, para las cremaciones de cadáveres y restos humanos. Para los años con vacíos de datos, por falta de registros, pérdida de información, por parte de las entidades a cargo u otras razones, se estimaron en base a regresión lineal. Adicionalmente, se agregaron residuos industriales incinerados sin fines energéticos reportados por las empresas en SINADER, separando los residuos orgánicos y no orgánicos (Tabla 394).

Tabla 394. 5.C. Incineración de residuos: datos de actividad (t), serie 1990-2018.

| Año | Residuos hospitalarios | Residuos Crematorios | Industriales no orgánicos | Industriales orgánicos |
|------|------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------|
| 1990 | 0,0 | 75,5 | 364,0 | 983,0 |
| 1991 | 0,0 | 78,9 | 364,0 | 983,0 |
| 1992 | 0,0 | 82,6 | 364,0 | 983,0 |
| 1993 | 0,0 | 84,4 | 364,0 | 983,0 |
| 1994 | 0,0 | 83,5 | 364,0 | 983,0 |
| 1995 | 0,0 | 79,9 | 364,0 | 983,0 |
| 1996 | 83,5 | 87,3 | 364,0 | 983,0 |
| 1997 | 94,1 | 83,6 | 364,0 | 983,0 |
| 1998 | 106,0 | 81,2 | 364,0 | 983,0 |
| 1999 | 119,5 | 80,5 | 364,0 | 983,0 |
| 2000 | 134,7 | 73,5 | 364,0 | 983,0 |
| 2001 | 151,8 | 74,6 | 364,0 | 983,0 |
| 2002 | 171,1 | 82,2 | 364,0 | 983,0 |
| 2003 | 192,9 | 81,4 | 364,0 | 983,0 |
| 2004 | 217,4 | 89,3 | 364,0 | 983,0 |
| 2005 | 245,0 | 98,0 | 364,0 | 983,0 |
| 2006 | 276,2 | 104,3 | 364,0 | 983,0 |
| 2007 | 311,3 | 126,3 | 364,0 | 983,0 |
| 2008 | 350,9 | 132,9 | 364,0 | 983,0 |
| 2009 | 395,5 | 135,2 | 364,0 | 983,0 |

| Año | Residuos hospitalarios | Residuos Crematorios | Industriales no orgánicos | Industriales orgánicos |
|------|------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------|
| 2010 | 445,8 | 148,4 | 364,0 | 983,0 |
| 2011 | 502,4 | 164,9 | 364,0 | 983,0 |
| 2012 | 559,1 | 195,4 | 364,0 | 983,0 |
| 2013 | 564,0 | 229,0 | 364,0 | 983,0 |
| 2014 | 672,7 | 228,0 | 364,0 | 983,0 |
| 2015 | 791,7 | 266,1 | 867,0 | 1.411,6 |
| 2016 | 3,7 | 396,4 | 690,1 | 192,5 |
| 2017 | 228,3 | 420,3 | 271,5 | 914,7 |
| 2018 | 436,4 | 452,7 | 293,5 | 494,0 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Es importante mencionar que no se pudo recopilar la información de todos los crematorios y hospitales catastrados, situación que provoca una brecha en la información.

7.3.4.3.2. Factores de emisión

Los datos paramétricos de los residuos hospitalarios necesarios para la estimación de emisiones de CO₂ son por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC* de 2006 y se muestran en la Tabla 395.

Tabla 395. 5.C. Incineración de residuos: datos paramétricos.

| Dato paramétrico | Tipo de residuo | Unidad | Valor |
|--|-----------------|----------|-------|
| Materia seca (dm) (*) | Hospitalario | Fracción | 0,65 |
| Fracción de carbono en la materia seca (CF) (**) | Hospitalario | Fracción | 0,60 |
| Fracción de carbono fósil en el carbono total (FCF) (**) | Hospitalario | Fracción | 0,40 |
| Factor de oxidación (OF) (**) | Hospitalario | Fracción | 1,00 |
| Materia seca (dm) (***) | Industrial | Fracción | 0,90 |
| Fracción de carbono en la materia seca (CF) (**) | Industrial | Fracción | 0,50 |
| Fracción de carbono fósil en el carbono total (FCF) (**) | Industrial | Fracción | 0,90 |
| Factor de oxidación (OF) (**) | Industrial | Fracción | 1,00 |

Fuente: (*) Cuadro 2.6., Capítulo 2, Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006 (**) Cuadro 5.2., Capítulo 5, Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006, (***) Cuadro 2.4., Capítulo 2, Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006

Los factores de emisión para el CH₄ y N₂O usados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron factores por defecto de las *Directrices IPCC de 2006*. La Tabla 396 presenta los factores de emisión usados para todos los tipos de residuos, considerando una tecnología de incineración por lotes.

Tabla 396. 5.C. Incineración de residuos: factores de emisión

| Tecnología | GEI | Valor (kg GEI/Gg residuos) |
|--|------------------|----------------------------|
| Incendio por lotes, lecho fluidizado (*) | CH ₄ | 237,0 |
| Incendio por lotes (**) | N ₂ O | 60,0 |

Fuente: (*) Cuadro 5.3; Capítulo 5; Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006 (**) Cuadro 5.6; Capítulo 5; Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006

7.3.4.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría es de -128 % y +208 %. En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que se consideraron las recomendadas en las *Directrices del IPCC del 2006* (Cuadro 3.5; Capítulo 3; Volumen 5, para los datos de actividad; Cuadro 2.6; Capítulo 2; Volumen 5, para la materia seca y Cuadro 5.2; Capítulo 5, Volumen 5, para el resto de los parámetros referidos a las

emisiones de CO₂; Sección 5.7.1.; Capítulo 5; Volumen 5, para los factores de emisión de CH₄ y N₂O). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 397.

Tabla 397. 5.C. Incineración de residuos: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|--------------------------|------------------|---|--------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 5.C.1. | Incineración de residuos | CH ₄ | 100,0% | 200,0% | 100,0% | 100,0% | 141,4% | 223,6% |
| 5.C.1. | Incineración de residuos | CO ₂ | 100,0% | 200,0% | 91,7% | 91,7% | 135,6% | 220,0% |
| 5.C.1. | Incineración de residuos | N ₂ O | 100,0% | 200,0% | 100,0% | 100,0% | 141,4% | 223,6% |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

7.3.4.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

7.3.4.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

7.3.4.6.1. Verificación

Por el momento no se tienen datos de otras fuentes con los cuales se pueda comparar los resultados.

7.3.4.7. Recálculos

7.3.4.7.1. Justificación de los nuevos cálculos y mejoras

Se efectuó un recálculo asociado a la incorporación de datos de actividad de incineración controlada de residuos industriales no peligrosos levantados por SINADER.

7.3.4.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

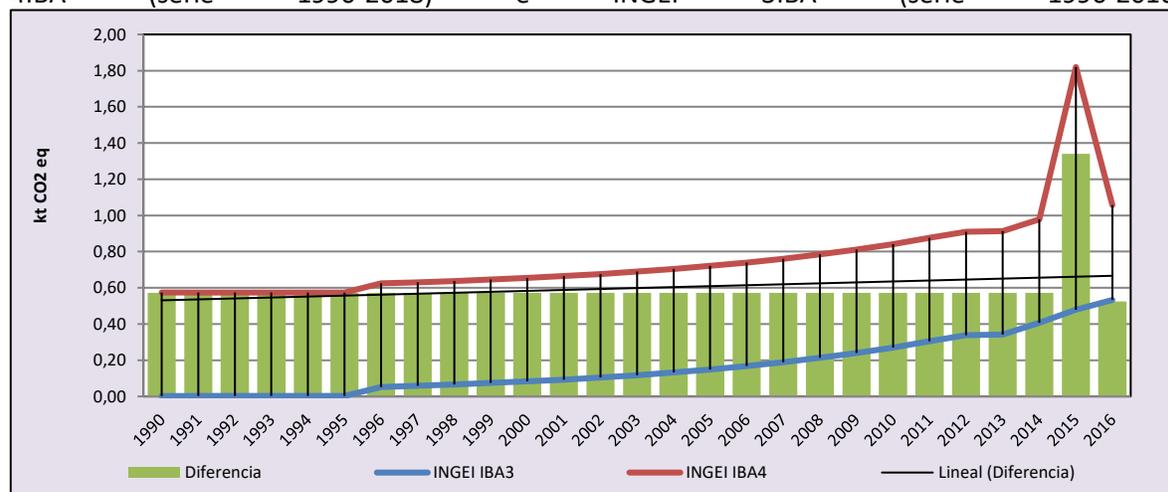
En la Tabla 398 y la Figura 189, se observa como variaron las emisiones de GEI de la subcategoría con respecto al inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia anual promedio es igual a 0,6 kt CO₂ eq, con un máximo en 2015 en que alcanzó una diferencia de 1,3 kt CO₂ eq.

Tabla 398. 5.C. Incineración de residuos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| INGEI IBA3 | 0,002 | 0,083 | 0,270 | 0,343 | 0,407 | 0,479 | 0,533 |
| INGEI IBA4 | 0,574 | 0,655 | 0,842 | 0,914 | 0,979 | 1,820 | 1,057 |
| Diferencia | 0,573 | 0,572 | 0,572 | 0,572 | 0,571 | 1,341 | 0,524 |
| Diferencia % | 99,7% | 87,4% | 67,9% | 62,5% | 58,4% | 73,7% | 49,6% |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 189. 5.C. Incineración de residuos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.3.4.8. Plan de mejoramiento

No se contemplan mejoras específicas para la presente subcategoría en la actualidad.

7.3.5. Incineración abierta de residuos (5.C.2.)

7.3.5.1. Descripción de la subcategoría

Esta categoría considera las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O generadas en la incineración abierta de residuos. La incineración abierta de residuos puede definirse como la combustión de materiales combustibles no deseados, tales como papel, madera, plástico, textiles, caucho, desechos de aceites y otros residuos al aire libre o en vertederos abiertos, donde el humo y otras emisiones se liberan directamente al aire, sin pasar por una chimenea o columna. Esta ocurre con mayor frecuencia en zonas rurales. Las emisiones procedentes de la quema de residuos agrícolas se consideran en el sector *Agricultura*.

7.3.5.2. Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría *Incineración de residuos* representa un 99 % de las emisiones de GEI de la categoría *Incineración e incineración abierta de residuos*. En el 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 94 kt CO₂ eq, incrementándose en un 109 % desde 1990 y en un 13 % desde 2016 (Tabla 393 y Figura 188). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es el aumento de generación de residuos per cápita en zonas rurales.

7.3.5.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CO₂, CH₄ y de N₂O de la subcategoría se utilizó una metodología de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC* de 2006 con factores de emisión por defecto.

La cantidad total de residuos sólidos quemados por incineración abierta se estimó en base a la siguiente ecuación:

Ecuación 34. 5.C.2. Incineración abierta de residuos: cantidad total de residuos sólidos quemados por incineración abierta

$$RSM_B = P * P_{frac} * DSM_p * B_{frac}$$

Fuente: En base a Ecuación 5.1; Capítulo 5; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- **RSM_B** : cantidad total de desechos sólidos municipales quemados por incineración abierta, kt/año
- **P** : Población
- **P_{frac}** : fracción de la población que quema residuos, fracción.
- **DSM_p** : generación de desechos per cápita, kt/cápita/año
- **B_{frac}** : fracción de la cantidad de desechos que se quema respecto de la cantidad total de desechos tratados, (fracción). Se considera igual a 1 por defecto.

Dióxido de carbono

Para la estimación de las emisiones de CO₂ procedentes de la incineración abierta de residuos se utiliza el método de Nivel 1. La estimación considera la Ecuación 5.2; Capítulo 5; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Metano

Las emisiones de CH₄ se estiman siguiendo un método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. Las emisiones provenientes de la incineración son el resultado de una combustión incompleta. Los factores importantes que afectan las emisiones son la temperatura, el tiempo de residencia y proporción de aire respecto a la cantidad de residuos. La estimación considera la Ecuación 5.4; Capítulo 5; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Óxido nítrico

Las emisiones de N₂O se estiman siguiendo un método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. La estimación considera la Ecuación 5.5; Capítulo 5; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- **Emisión_{N2O}**: emisiones de N₂O durante el año del inventario, kt/año
- **IW_i**: cantidad total de residuos sólidos del tipo i (peso húmedo) incinerados o quemados por incineración abierta, kt/año.
- **EF_i**: factor de emisión de N₂O por tipo de residuo, kg N₂O/kt de residuos.
- **i**: tipo de residuos incinerado o quemado al aire libre.

7.3.5.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad incluyen: la población nacional y rural, que se obtiene de publicaciones del INE en base al censo 2017 (Tabla 399), con la finalidad de identificar la porción de población que

quema sus residuos; y la cantidad de generación per cápita de residuos. La generación de residuos per cápita anual se calcula dividiendo la generación total de residuos, presentada en la categoría *Disposición de residuos sólidos (5.A)*, por la cantidad total de habitantes en cada sector. Para la determinación de la fracción de población que quema sus residuos, se considera que corresponde a aquella población rural que no cuenta con cobertura de aseo, dato que se obtiene del Catastro de SUBDERE del 2017. Dicho informe, presenta la información de un año solamente, por lo que, para el presente cálculo, se definió que dicho valor se considerara constante para todos los años de la serie de tiempo (Tabla 400).

Tabla 399. 5.C.2 Incineración abierta de residuos: datos de actividad (personas), serie 1990-2018.

| Año | Población Rural | Nacional |
|------|-----------------|------------|
| 1990 | 2.219.555 | 13.178.782 |
| 1991 | 2.213.776 | 13.422.010 |
| 1992 | 2.207.996 | 13.665.241 |
| 1993 | 2.202.216 | 13.908.473 |
| 1994 | 2.196.437 | 14.151.708 |
| 1995 | 2.190.657 | 14.394.940 |
| 1996 | 2.184.878 | 14.595.504 |
| 1997 | 2.179.098 | 14.796.076 |
| 1998 | 2.173.318 | 14.996.647 |
| 1999 | 2.167.539 | 15.197.213 |
| 2000 | 2.161.759 | 15.397.784 |
| 2001 | 2.155.980 | 15.571.679 |
| 2002 | 2.150.200 | 15.691.701 |
| 2003 | 2.142.439 | 15.856.977 |
| 2004 | 2.135.823 | 16.022.133 |
| 2005 | 2.130.300 | 16.183.489 |
| 2006 | 2.126.562 | 16.347.890 |
| 2007 | 2.125.197 | 16.517.933 |
| 2008 | 2.126.945 | 16.697.754 |
| 2009 | 2.131.585 | 16.881.078 |
| 2010 | 2.138.137 | 17.063.927 |
| 2011 | 2.146.736 | 17.254.159 |
| 2012 | 2.155.630 | 17.443.491 |
| 2013 | 2.162.542 | 17.611.902 |
| 2014 | 2.169.346 | 17.787.617 |
| 2015 | 2.176.346 | 17.971.423 |
| 2016 | 2.183.598 | 18.167.147 |
| 2017 | 2.193.732 | 18.419.192 |
| 2018 | 2.207.982 | 18.751.405 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Tabla 400. 5.C.2 Incineración abierta de residuos: parámetro, porcentaje de cobertura rural de servicio de aseo (porcentaje).

| Región | Cobertura rural aseo |
|-------------------------------|----------------------|
| Región de Arica y Parinacota. | 97% |
| Región de Tarapacá. | 87% |
| Región de Antofagasta. | 81% |
| Región de Atacama. | 91% |
| Región de Coquimbo. | 78% |
| Región de Valparaíso. | 87% |

| Región | Cobertura rural aseo |
|--|----------------------|
| Región Metropolitana de Santiago. | 99% |
| Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. | 92% |
| Región del Maule. | 73% |
| Región del Ñuble. | 68% |
| Región del Biobío. | 68% |
| Región de La Araucanía. | 35% |
| Región de Los Ríos. | 79% |
| Región de Los Lagos. | 59% |
| Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. | 64% |
| Región de Magallanes y la Antártica Chilena. | 68% |
| Nacional | 73% |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA en base a Catastro Subdere 2017

7.3.5.3.2. Factores de emisión

Los datos paramétricos de los residuos domiciliarios municipales necesarios para la estimación de emisiones de CO₂ son por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC* de 2006 excepto por la fracción de composición en que utilizan datos país específico de acuerdo a lo explicado en la categoría 5.A. y se muestran en la Tabla 401.

Tabla 401. 5.C.2 Incineración abierta de residuos: datos paramétricos.

| Dato paramétrico | Tipo de residuo | Valor | Unidad |
|--|--|-------|----------|
| Fracción de RSM | Papel Cartón | 0,114 | fracción |
| Contenido de materia seca en % del peso húmedo | Papel Cartón | 0,900 | fracción |
| Fracción de carbono en la materia seca | Papel Cartón | 0,460 | fracción |
| Fracción de carbono fósil en el carbono total | Papel Cartón | 0,010 | fracción |
| Fracción de RSM | Plástico | 0,111 | fracción |
| Contenido de materia seca en % del peso húmedo | Plástico | 1,000 | fracción |
| Fracción de carbono en la materia seca | Plástico | 0,750 | fracción |
| Fracción de carbono fósil en el carbono total | Plástico | 1,000 | fracción |
| Fracción de RSM | Productos sanitarios | 0,048 | fracción |
| Contenido de materia seca en % del peso húmedo | Productos sanitarios | 0,400 | fracción |
| Fracción de carbono en la materia seca | Productos sanitarios | 0,700 | fracción |
| Fracción de carbono fósil en el carbono total | Productos sanitarios | 0,100 | fracción |
| Fracción de RSM | Textiles | 0,019 | fracción |
| Contenido de materia seca en % del peso húmedo | Textiles | 0,800 | fracción |
| Fracción de carbono en la materia seca | Textiles | 0,500 | fracción |
| Fracción de carbono fósil en el carbono total | Textiles | 0,200 | fracción |
| Fracción de RSM | Otros no orgánicos, suciedad y cenizas | 0,068 | Fracción |
| Contenido de materia seca en % del peso húmedo | Otros no orgánicos, suciedad y cenizas | 1,000 | Fracción |
| Fracción de carbono en la materia seca | Otros no orgánicos, suciedad y cenizas | 0,300 | Fracción |
| Fracción de carbono fósil en el carbono total | Otros no orgánicos, suciedad y cenizas | 1,000 | Fracción |
| Factor de oxidación (*) | OF | 0,580 | Fracción |

Fuente: en base a Cuadro 2.4., Capítulo 2, Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006 y (*) Cuadro 5.2., Capítulo 5, Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006.

Los factores de emisión para el CH₄ y N₂O usados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron factores por defecto de las *Directrices IPCC de 2006*. La Tabla 402 presenta los factores de emisión usados para todos los tipos de residuos.

Tabla 402. 5.C. Incineración abierta de residuos: factores de emisión

| Residuos | GEI | Valor | Unidades | Fuente |
|----------|------------------|-------|-----------------------|---|
| RSM | CH ₄ | 6500 | gr/ton de peso húmedo | texto debajo de cuadro 5.3; Capítulo 5; Volumen 5, Directrices IPCC de 2006 |
| RSM | N ₂ O | 0,15 | gr/kg de materia seca | texto antes del cuadro 5.6; Capítulo 5; Volumen 5, Directrices IPCC de 2006 |

7.3.5.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría es de -122 % y +101 % para CH₄ y N₂O y -15 % y +92 % para CO₂. En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas en las *Directrices del IPCC del 2006* (Cuadro 3.5; Capítulo 3; Volumen 5, para los datos de actividad; Cuadro 2.6; Capítulo 2; Volumen 5, para la materia seca y Cuadro 5.2; Capítulo 5, Volumen 5, para el resto de los parámetros referidos a las emisiones de CO₂; Sección 5.7.1.; Capítulo 5; Volumen 5, para los factores de emisión de CH₄ y N₂O). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 403.

Tabla 403. 5.C.2 Incineración abierta de residuos: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|----------------------------------|------------------|---|-------|---------------------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 5.C.2. | Incineración abierta de residuos | CO ₂ | 70,0% | 10,0% | 91,7% | 91,7% | 115,3% | 92,2% |
| 5.C.2. | Incineración abierta de residuos | CH ₄ | 70,0% | 10,0% | 100,0% | 100,0% | 122,1% | 100,5% |
| 5.C.2. | Incineración abierta de residuos | N ₂ O | 70,0% | 10,0% | 100,0% | 100,0% | 122,1% | 100,5% |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

7.3.5.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

7.3.5.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

7.3.5.6.1. Verificación

Por el momento no se tienen datos de otras fuentes con los cuales se pueda comparar los resultados.

7.3.5.7. Recálculos

No aplica ya que en el inventario anterior no se estimaron estas emisiones

7.3.5.8. Plan de mejoramiento

No se contemplan mejoras específicas para la presente subcategoría en la actualidad.

7.4. Tratamiento y descarga de aguas residuales (5.D.)

7.4.1. Descripción de la categoría

Las aguas residuales pueden ser una fuente de CH₄ cuando se las trata o elimina en medio anaeróbico. También pueden ser una fuente de emisiones de N₂O. Las emisiones de CO₂ procedentes de las aguas residuales no se consideran en las *Directrices del IPCC de 2006* porque son de origen biogénico y no deben incluirse en el total nacional de emisiones. Las aguas residuales se originan en una variedad de fuentes domésticas, comerciales e industriales y pueden tratarse in situ (no recolectadas), transferirse por alcantarillado a una instalación central (recolectadas), o eliminarse sin tratamiento en las cercanías o por medio de desagües.

La categoría incluye las subcategorías siguientes:

- 5.D.1. *Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas.*
- 5.D.2. *Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales.*

En el contexto nacional, esta categoría incluye las emisiones producidas por los diferentes tratamientos aplicados a las aguas servidas de todo el país y también las emisiones debido a los diferentes tipos de tratamientos aplicados a los residuos líquidos industriales (RILES).

7.4.2. Tendencia de las emisiones de GEI

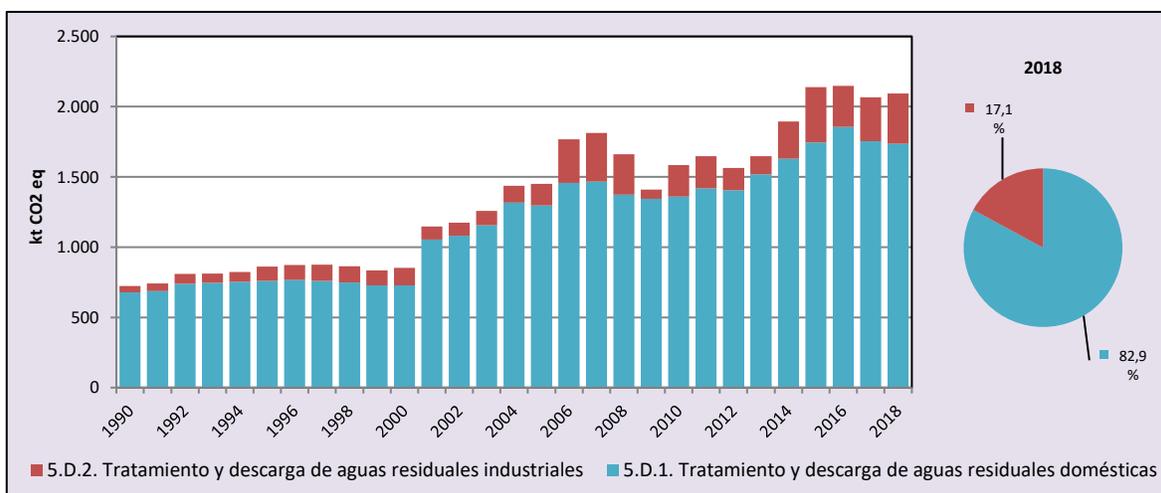
La categoría *Tratamiento y descarga de aguas residuales* es la segunda categoría emisora de GEI del sector *Residuos* (30 %). En 2018, sus emisiones de GEI contabilizaron 2.096 kt CO₂ eq, incrementándose en un 190 % desde 1990 y disminuyendo en un 2,4 % desde 2016 (Tabla 404 y Figura 190). Se observa que entre 2001 y 2005 hay un gran incremento en la tendencia, que se debe a la entrada de lodos activados y digestores anaeróbicos como tratamiento a las aguas servidas, lo que se suma al aumento de las aguas servidas industriales tratadas. La posterior disminución se explica por el cambio en el tipo de tratamiento aplicado a las aguas servidas industriales. La variabilidad en las emisiones del tratamiento de aguas servidas tiene relación con la captura de metano que en general ha ido en aumento al igual que los lodos removidos. Mayor detalle se encuentra en la sección de cada subcategoría.

Tabla 404. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018

| Subcategoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas | 678,7 | 728,2 | 1.359,4 | 1.518,3 | 1.856,2 | 1.756,0 | 1.738,0 |
| 5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales | 44,0 | 123,6 | 225,8 | 129,4 | 291,1 | 310,8 | 357,6 |
| Total | 722,7 | 851,9 | 1.585,3 | 1.647,7 | 2.147,3 | 2.066,8 | 2.095,6 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 190. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.4.3. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de las subcategorías de *Tratamiento y descarga de aguas residuales* se utilizó una metodología de Nivel 2 para las emisiones de CH₄ y Nivel 1 para las emisiones de N₂O, de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* con datos de actividad y algunos factores de emisión país específicos. En la Tabla 405 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 405. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: métodos aplicados por subcategoría

| Código IPCC | Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero | CH ₄ | | N ₂ O | |
|-------------|--|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | | Nivel metodológico | Factor de emisión | Nivel metodológico | Factor de emisión |
| 4.D.1. | Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas | T2 | D, CS | T1 | D |
| 4.D.2. | Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales | T2 | D, CS | | |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Los cálculos de las emisiones para las subcategorías se elaboraron en hojas de cálculo Excel.

7.4.4. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas (5.D.1.)

7.4.4.1. Descripción de la subcategoría

Se entiende por aguas residuales domésticas (o aguas servidas) a los residuos de aguas utilizadas en los hogares. Estas pueden tratarse en el lugar en que se originan, transferirse por alcantarillado a una instalación central (recolectadas), o eliminarse sin tratamiento en las cercanías o por medio de desagües. El transporte puede ser por medio de alcantarillas abiertas o cerradas, y los tipos de tratamiento incluyen plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS), letrinas de hoyo, sistemas sépticos, o ser eliminadas en lagunas no gestionadas o en vías fluviales. En algunas ciudades costeras, las aguas servidas domésticas se transfieren directamente al océano (Emisario submarino).

Las aguas residuales pueden ser una fuente de metano (CH₄) cuando se las trata o elimina en medio anaeróbico. También pueden ser una fuente de emisiones de óxido nitroso (N₂O). Las emisiones de

dióxido de carbono (CO₂) procedentes de las aguas residuales no se consideran en las *Directrices del IPCC de 2006* porque son de origen biogénico y no deben incluirse en el total nacional de emisiones.

En el contexto nacional, esta categoría incluye las emisiones producidas por los diferentes tratamientos, incluyendo tanto las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS), así como otras formas de eliminación. La proporción de utilización de cada uno de estos ha cambiado considerablemente a lo largo de la serie 1990-2018, destacándose la aparición de plantas de tratamiento anaeróbico que permite la recuperación del metano generado.

La entidad encargada de la fiscalización y establecimiento de normas para empresas sanitarias encargadas del tratamiento de las aguas servidas domésticas corresponde a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)⁹¹, que además maneja los datos de cobertura total de recolección y del tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel nacional.

Adicionalmente, en el contexto nacional el lodo removido desde el tratamiento de aguas residuales tiene múltiples destinos: rellenos sanitarios, vertederos autorizados o monorellenos. Las emisiones de metano para estos tipos de disposición final son consideradas dentro de la categoría *Sitios de disposición de residuos sólidos (5.A.)*. Otros posibles destinos para el lodo generado son para uso agrícola como abono o compostaje.

7.4.4.2. Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría *Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas* es la principal subcategoría emisora de GEI de la categoría *Tratamiento y descarga de aguas residuales*, representando el 83 % de sus emisiones de GEI. En el 2018, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 1.738 kt CO₂ eq, incrementándose en un 156 % desde 1990 y disminuyendo en un 6 % desde 2016 (Tabla 404 y Figura 191). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es el aumento constante de población y la mayor cobertura de los tratamientos de aguas servidas domésticas. En la Figura 191 se observa el incremento del uso de PTAS a partir de 2001, lo que coincide con el aumento en las emisiones. Adicionalmente también tienen un efecto importante la remoción de lodos y la recuperación de metano. El efecto de este último se aprecia en la Figura 192.

⁹¹ <https://www.siss.gob.cl/586/w3-channel.html>

Figura 191. 5.D.1 Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas grado de utilización de sistemas de eliminación de aguas servidas (Tij) de la población urbana, serie 1990-2018

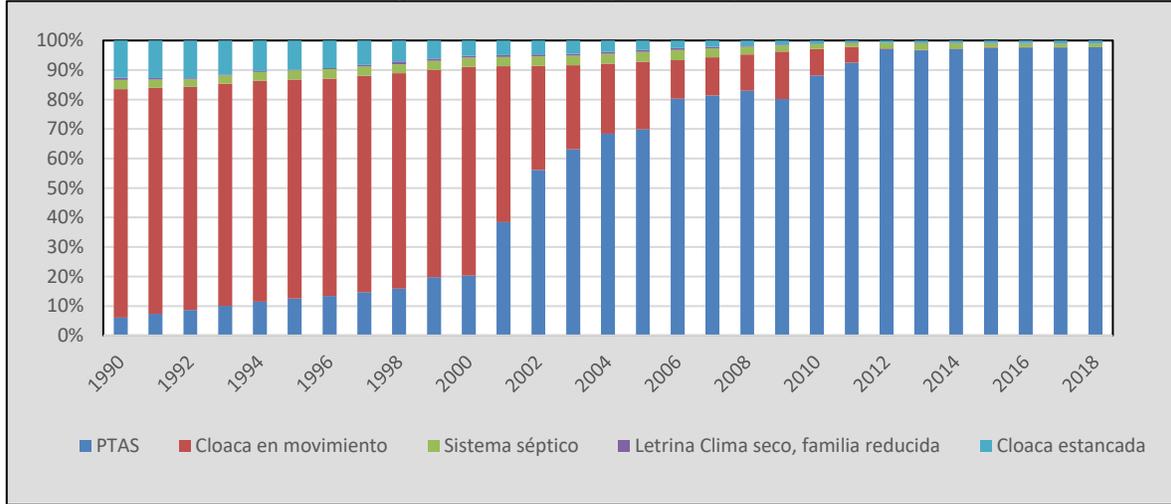
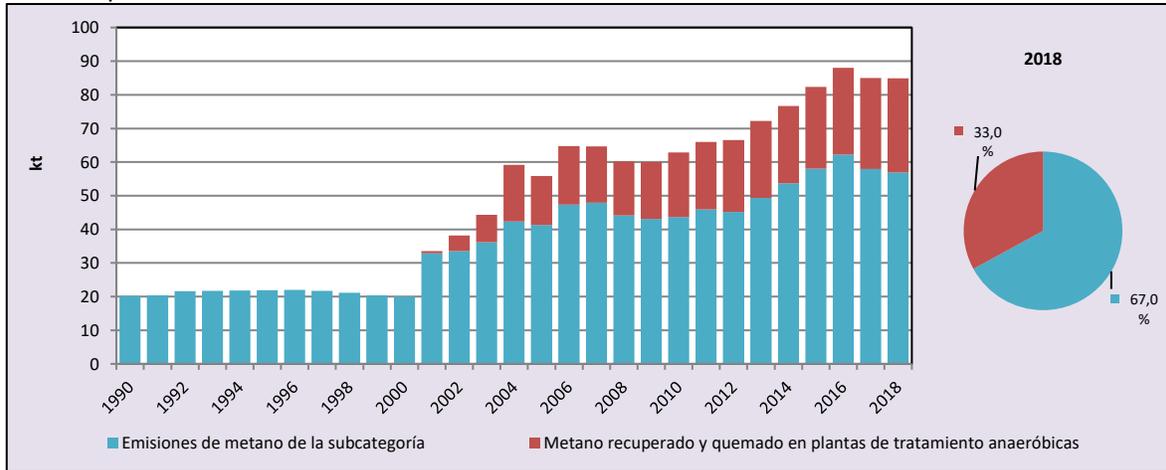


Figura 192. 5.D.1 Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: emisiones de CH₄ (kt) y CH₄ recuperado serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.4.4.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de la subcategoría *Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas* se utilizó una metodología de Nivel 2 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* con un DBO per cápita específico del país y la proporción de utilización de los distintos tipos de tratamiento o vías de eliminación basada en datos nacionales. Las emisiones de N₂O se estimaron utilizando la metodología de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*.

Metano

Las emisiones dependen de la cantidad de materia orgánica degradable contenida en las aguas residuales y de un factor de emisión que caracteriza la proporción en la que estos residuos generan CH₄ que depende del tipo de sistema de tratamiento. De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, los pasos para la estimación de emisiones de CH₄ son:

- 1) Estimar el contenido total de carbono orgánico degradable en las aguas servidas: el contenido total depende de la población total atendida y la generación de DBO por persona, de acuerdo con la Ecuación 6.3; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.
- 2) Determinar las vías y los sistemas de tratamiento según los datos del país, para estimar el factor de emisión en función de la capacidad máxima de producción de CH₄ (B₀) y el factor corrector para el CH₄ (MCF), dependiente de cada vía o sistema. De acuerdo con lo anterior, el factor de emisión para cada sistema se calcula a partir de la Ecuación 6.2; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.
- 3) Estimar las emisiones sumando los resultados para cada sistema y cada tipo de población (urbana y rural) y ajustando de acuerdo con el lodo removido y el metano recuperado. La ecuación utilizada varía levemente con respecto a la expuesta en las *Directrices IPCC de 2006*, ya que se considera el lodo removido por tipo de tratamiento, lo que implica cambios en el resultado pero que representan mejor la realidad nacional. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 35. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: emisiones totales de CH₄ procedentes de las aguas residuales domésticas (Nivel 1)

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \left[\sum_{i,j} ((TOW \cdot U_i \cdot T_{i,j} - S_j) \cdot EF_j) \right] - R$$

Fuente: en base a Ecuación 6.1; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisiones de CH₄: emisiones de CH₄ durante el año de inventario, kg de CH₄/año.
- TOW: total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg de DBO/año.
- S_j: componente orgánico separado como lodo durante todo el año de inventario en los sistemas de tratamiento *j*, kg de DBO/año.
- U_i: fracción de la población del tipo *i* en el año de inventario.
- T_{i,j}: grado de utilización de vía o sistema de tratamiento *j*, para cada fracción de grupo de ingreso *i*, en el año del inventario.
- EF_j: factor de emisión para la vía o sistema de tratamiento *j*, kg de CH₄/kg de DBO.

Óxido nítrico

En el caso nacional, no se lleva a cabo el proceso de nitrificación y desnitrificación en plantas de tratamiento de aguas servidas, por lo que las emisiones de N₂O se generan después de la eliminación de los efluentes en vías fluviales, lagos o en el mar. La estimación considera la Ecuación 6.7 y 6.8 ; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

7.4.4.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Población (U_i)

Para la estimación del contenido total de carbono orgánico degradable en las aguas servidas (TOW), es necesario conocer la población total para cada año de la serie temporal. Adicionalmente, es

necesario conocer la proporción de población urbana y rural debido a que sus sistemas de eliminación o tratamiento se utilizan en distinta proporción. Según las definiciones utilizadas tanto por el INE como por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MDSF)⁹², las áreas urbanas corresponden a un “Conjunto de viviendas concentradas con población mayor a 2.000 habitantes, o entre 1.001 y 2.000 habitantes, donde al menos el 50% de la población económicamente activa se dedica a actividades secundarias o terciarias”⁹³. Por otro lado, la zona rural corresponde a lo contrario.

Los datos de población urbana y rural para toda la serie se obtienen en base a informes elaborados por el INE. Entre 2002 y 2018 los valores se tomaron de la publicación “ine_estimaciones-y-proyecciones-2002-2035_base-2017_region_area_tabulados”⁹⁴ (archivo Excel) donde se obtienen las poblaciones rurales y urbanas para cada año y región. Para los años entre 1990 y 2001 la población total se obtuvo de la publicación en la extensión .pdf “CHILE: Estimaciones y Proyecciones de Población por Sexo y Edad. Regiones 1990-2020”⁹⁵. Luego para separar entre urbano y rural se hizo una regresión lineal entre los datos de 1992 y 2002, años para los que se tienen datos más detallados por ser años de censo. Un paso intermedio para poder utilizar los datos de 1992 fue separar las regiones I y X para agregar la XIV y XV. Los resultados se pueden ver en la Tabla 406.

Según la realidad nacional tanto las zonas rurales como las urbanas cuentan con un porcentaje de su población con alcantarillado y otra sin alcantarillado, cuyos porcentajes se definen en base a las encuestas CASEN. Se denomina urbana alta a las aguas servidas de la población urbana que se recolectan por sistema de alcantarillado y pasan por algún sistema de tratamiento (lodos activos, lagunas aireadas, etc.); mientras que la población urbana baja, es aquella cuyas aguas no son recolectadas o solo son recolectadas pero no reciben ningún tipo de tratamiento. Para esto se consideran los datos de cobertura de la SISS que describen el porcentaje de aguas recolectadas que pasa por sistemas de tratamiento. Estos datos se tienen para los años 1989, 1995 y entre 1998 y 2018. Para completar la serie se hace una regresión lineal entre los datos.

Tabla 406. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: población y proporción urbana alta, urbana baja y rural, serie 1990-2018.

| Año | Población total | % Rural | % Urbano alto | %Urbano bajo |
|------|-----------------|---------|---------------|--------------|
| 1990 | 13.178.782 | 16,9% | 5,1% | 78,0% |
| 1991 | 13.422.010 | 16,5% | 6,2% | 77,3% |
| 1992 | 13.665.241 | 16,2% | 7,3% | 76,5% |
| 1993 | 13.908.473 | 15,8% | 8,5% | 75,7% |
| 1994 | 14.151.708 | 15,5% | 9,7% | 74,9% |
| 1995 | 14.394.940 | 15,1% | 10,6% | 74,2% |
| 1996 | 14.595.504 | 14,8% | 11,4% | 73,7% |
| 1997 | 14.796.076 | 14,6% | 12,6% | 72,9% |
| 1998 | 14.996.647 | 14,3% | 13,7% | 72,0% |
| 1999 | 15.197.213 | 14,0% | 17,0% | 69,0% |
| 2000 | 15.397.784 | 13,8% | 17,5% | 68,7% |
| 2001 | 15.571.679 | 13,6% | 33,3% | 53,2% |

⁹² <http://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/>

⁹³ http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen/casen_def_otros.php

⁹⁴ Rescatado en 08 de 2018 de <http://www.ine.cl/estadisticas/demograficas-y-vitales>

⁹⁵ <https://research.csiro.au/gestionrapel/wp-content/uploads/sites/79/2016/11/CHILE-Proyecciones-y-Estimaciones-de-Poblaci%C3%B3n-por-Sexo-y-Edad.-1990-2020.pdf>

| Año | Población total | % Rural | % Urbano alto | %Urbano bajo |
|------|-----------------|---------|---------------|--------------|
| 2002 | 15.691.701 | 13,7% | 48,4% | 37,9% |
| 2003 | 15.856.977 | 13,5% | 54,6% | 31,9% |
| 2004 | 16.022.133 | 13,3% | 59,3% | 27,4% |
| 2005 | 16.183.489 | 13,2% | 60,7% | 26,1% |
| 2006 | 16.347.890 | 13,0% | 69,9% | 17,1% |
| 2007 | 16.517.933 | 12,9% | 70,9% | 16,2% |
| 2008 | 16.697.754 | 12,7% | 72,4% | 14,8% |
| 2009 | 16.881.078 | 12,6% | 70,0% | 17,4% |
| 2010 | 17.063.927 | 12,5% | 77,2% | 10,3% |
| 2011 | 17.254.159 | 12,4% | 81,0% | 6,6% |
| 2012 | 17.443.491 | 12,4% | 85,1% | 2,5% |
| 2013 | 17.611.902 | 12,3% | 84,8% | 2,9% |
| 2014 | 17.787.617 | 12,2% | 85,3% | 2,5% |
| 2015 | 17.971.423 | 12,1% | 85,8% | 2,1% |
| 2016 | 18.167.147 | 12,0% | 85,9% | 2,0% |
| 2017 | 18.419.192 | 11,9% | 86,1% | 2,0% |
| 2018 | 18.751.405 | 11,8% | 86,2% | 2,0% |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA con base en INE.

Grado de utilización (T_{ij})

El grado de utilización corresponde a la fracción de la población urbana o rural, cuyas aguas servidas reciben un determinado tipo de tratamiento o eliminación.

Se utilizaron los resultados sobre eliminación de excretas de la encuesta CASEN separados por región, en zona urbana y rural para los años 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2003, 2006, 2009, 2011, 2013 y 2015. Para los años intermedios se interpolaron los datos más cercanos, y para los años 2016 a 2018 se extrapoló siguiendo la tendencia entre 2013 y 2015. En estas encuestas se indica la distribución de acuerdo con si se cuenta con alcantarillado (recolectada) o, en caso contrario, el tipo de eliminación. En los casos en que se cuenta con alcantarillado, para la zona rural se hace el supuesto de que no se cuenta con sistemas de tratamiento y para la zona urbana el tipo de tratamiento (PTAS) depende de información otorgada por la SISS.

Se homologó la tipificación de los sistemas de tratamiento o eliminación de la encuesta CASEN al formato de las *Directrices del IPCC de 2006* para poder utilizar los factores de emisión por defecto lo que se detalla en la Tabla 407.

Tabla 407. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: homologación de tratamiento y sistemas de descarga de aguas servidas

| Sistema de descarga | |
|--|--|
| IPCC | CASEN |
| Cloaca en movimiento o PTAS ¹ | Conectado Alcantarillado ² |
| Sistema séptico | Fosa séptica |
| Letrina Clima seco, familia reducida | Letrina sanitaria |
| Cloaca estancada | Otros (Pozo negro, acequia o canal, baño químico, otros o sin sistema) |

¹ Tipos de PTAS se definen de acuerdo a información de la SISS.

² incluye no sabe, no responde, sin información por ser el de mayor porcentaje

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA, de acuerdo a Cuadro 6.3, Capítulo 6, Volumen 5; *Directrices del IPCC de 2006*.

Los resultados obtenidos para la zona urbana y rural del grado de utilización de cada sistema se muestran en las Tabla 408 y Tabla 409.

Tabla 408. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: grado de utilización de tratamiento y sistemas de descarga de aguas servidas (T_{ij}) de la población rural, serie 1990-2018

| Tipo de tratamiento | Cloaca en movimiento | Sistema séptico | Letrina Clima seco, familia reducida | Cloaca estancada |
|---------------------|----------------------|-----------------|--------------------------------------|------------------|
| 1990 | 4,1% | 14,9% | 1,8% | 79,2% |
| 1991 | 5,3% | 14,5% | 1,7% | 78,6% |
| 1992 | 6,4% | 14,1% | 1,6% | 77,9% |
| 1993 | 6,6% | 16,3% | 1,4% | 75,7% |
| 1994 | 6,7% | 18,4% | 1,3% | 73,6% |
| 1995 | 5,6% | 17,6% | 1,4% | 75,5% |
| 1996 | 4,3% | 16,7% | 1,5% | 77,5% |
| 1997 | 4,7% | 18,1% | 4,0% | 73,2% |
| 1998 | 5,0% | 19,6% | 6,6% | 68,8% |
| 1999 | 4,6% | 23,7% | 6,9% | 64,8% |
| 2000 | 4,1% | 27,7% | 7,3% | 60,9% |
| 2001 | 4,7% | 30,3% | 8,0% | 57,1% |
| 2002 | 5,3% | 32,8% | 8,6% | 53,3% |
| 2003 | 5,9% | 35,2% | 9,3% | 49,7% |
| 2004 | 7,7% | 38,1% | 9,3% | 45,0% |
| 2005 | 9,4% | 41,0% | 9,2% | 40,4% |
| 2006 | 11,0% | 43,7% | 9,2% | 36,1% |
| 2007 | 12,7% | 44,4% | 10,0% | 32,9% |
| 2008 | 14,4% | 45,1% | 10,7% | 29,8% |
| 2009 | 15,9% | 45,7% | 11,4% | 26,9% |
| 2010 | 17,4% | 46,3% | 12,1% | 24,1% |
| 2011 | 18,9% | 46,9% | 12,8% | 21,5% |
| 2012 | 17,0% | 52,1% | 11,1% | 19,7% |
| 2013 | 15,2% | 57,1% | 9,6% | 18,0% |
| 2014 | 18,7% | 56,9% | 8,8% | 15,6% |
| 2015 | 21,9% | 56,8% | 7,9% | 13,4% |
| 2016 | 25,0% | 56,6% | 7,2% | 11,2% |
| 2017 | 28,0% | 56,5% | 6,4% | 9,1% |
| 2018 | 30,9% | 56,4% | 5,7% | 7,1% |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA con base en CASEN

Tabla 409. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: grado de utilización de tratamiento y sistemas de descarga de aguas servidas (T_{ij}) de la población urbana, serie 1990-2018

| Tipo de tratamiento | PTAS | Cloaca en movimiento | Sistema séptico | Letrina Clima seco, familia reducida | Cloaca estancada |
|---------------------|-------|----------------------|-----------------|--------------------------------------|------------------|
| 1990 | 6,1% | 77,4% | 3,2% | 0,8% | 12,6% |
| 1991 | 7,4% | 76,5% | 2,9% | 0,5% | 12,7% |
| 1992 | 8,7% | 75,6% | 2,6% | 0,3% | 12,8% |
| 1993 | 10,1% | 75,3% | 2,8% | 0,3% | 11,6% |
| 1994 | 11,5% | 74,9% | 3,0% | 0,3% | 10,4% |
| 1995 | 12,5% | 74,2% | 3,1% | 0,3% | 9,9% |
| 1996 | 13,4% | 73,6% | 3,2% | 0,3% | 9,4% |
| 1997 | 14,7% | 73,3% | 3,1% | 0,6% | 8,3% |
| 1998 | 15,9% | 73,0% | 3,0% | 0,9% | 7,1% |
| 1999 | 19,8% | 70,2% | 3,1% | 0,8% | 6,1% |
| 2000 | 20,3% | 70,7% | 3,2% | 0,6% | 5,1% |

| Tipo de tratamiento | PTAS | Cloaca en movimiento | Sistema séptico | Letrina Clima seco, familia reducida | Cloaca estancada |
|---------------------|-------|----------------------|-----------------|--------------------------------------|------------------|
| 2001 | 38,5% | 52,8% | 3,2% | 0,6% | 4,9% |
| 2002 | 56,1% | 35,3% | 3,2% | 0,7% | 4,7% |
| 2003 | 63,2% | 28,4% | 3,3% | 0,7% | 4,5% |
| 2004 | 68,4% | 23,8% | 3,3% | 0,7% | 3,8% |
| 2005 | 69,9% | 22,8% | 3,4% | 0,6% | 3,2% |
| 2006 | 80,3% | 13,0% | 3,5% | 0,6% | 2,6% |
| 2007 | 81,4% | 12,9% | 3,0% | 0,5% | 2,2% |
| 2008 | 83,0% | 12,3% | 2,5% | 0,4% | 1,8% |
| 2009 | 80,1% | 16,1% | 2,1% | 0,3% | 1,4% |
| 2010 | 88,2% | 8,9% | 1,7% | 0,2% | 1,0% |
| 2011 | 92,5% | 5,4% | 1,3% | 0,2% | 0,7% |
| 2012 | 97,1% | 0,2% | 1,8% | 0,2% | 0,7% |
| 2013 | 96,7% | 0,1% | 2,3% | 0,3% | 0,7% |
| 2014 | 97,2% | 0,1% | 1,8% | 0,2% | 0,8% |
| 2015 | 97,6% | 0,2% | 1,3% | 0,2% | 0,8% |
| 2016 | 97,7% | 0,1% | 1,2% | 0,2% | 0,9% |
| 2017 | 97,7% | 0,1% | 1,2% | 0,1% | 0,9% |
| 2018 | 97,7% | 0,1% | 1,2% | 0,1% | 1,0% |

La población urbana con alcantarillado se separó primero según si cuenta con planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) usando datos de cobertura de la SISS. Luego para la fracción con PTAS se debió homologar la tipificación nacional de los tratamientos a los definidos por las *Directrices del IPCC de 2006* para poder usar los factores correctores de metano pertinentes. La homologación se detalla en la Tabla 410.

Tabla 410. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: homologación de tratamientos de aguas servidas.

| Tratamiento de aguas servidas | |
|--|--|
| IPCC | SISS |
| Eliminación en río lago y mar | Emisario submarino |
| | Primario y desinfección |
| Planta de tratamiento centralizada aeróbico mal operada | Laguna aireada |
| Planta de tratamiento centralizada aeróbico bien operada | Lodos activados |
| | Lombrifiltro |
| | Reactores biológicos secuenciales (SBR) |
| | Biofiltro |
| | Zanjas oxidación |
| Laguna anaeróbica poco profunda | Laguna estabilización |
| Digestor anaeróbico para lodos | Lodos activados con digestor anaeróbico para los lodos |
| | Biofiltro con digestor anaeróbico para los lodos |
| Reactor anaeróbico | Físico química |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA de acuerdo a Cuadro 6.3, Capítulo 6, Volumen 5; Directrices del IPCC de 2006.

Para la estimación del grado de utilización de cada sistema se consideró información enviada por la SISS para los años 2005 a 2018 con los volúmenes de agua tratada por tipo de planta. Para completar la serie se consideraron los informes de gestión de la SISS, referente a los caudales captados por cada planta de tratamiento de aguas servidas a lo largo del país disponibles para 2003 y 2004. Para completar el resto de la serie se procedió de la manera siguiente:

- Para 1990–2002 se mantuvo el caudal informado para 2003. También se tuvo en consideración el año de entrada en funcionamiento de cada planta de acuerdo con lo informado en el Sistema de Evaluación Ambiental (SEA) y la fecha de formulación de las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA).
- Para todos los años se revisaron aquellas plantas que dejaron de funcionar. Dicha información está incluida en las DIA y EIA de las plantas nuevas, puesto que se suelen mencionar las plantas que reemplazan o bien, los posibles cambios de tecnologías de tratamiento.
- Para las plantas de mayor importancia, en términos del caudal tratado, se mejoró la información utilizando como fuente las memorias anuales de cada planta (Trebal-Mapocho, La Farfana y ESSAL).

Así se estimaron los caudales por tratamiento para cada región, los que sumados, permiten estimar los grados de utilización nacionales. Estos grados son presentados en la Tabla 411.

Tabla 411. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: grado de utilización de tratamientos de aguas servidas (T_{ij}) de la población urbana alta, serie 1990–2018.

| Tipo de tratamiento | Eliminación en río lago y mar | Planta de tratamiento centralizada aeróbico mal operada | Planta de tratamiento centralizada aeróbico bien operada | Laguna anaeróbica poco profunda | Digestor anaeróbico para lodos | Reactor anaeróbico |
|---------------------|-------------------------------|---|--|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 1990 | 51,2% | 18,3% | 9,4% | 21,1% | 0,0% | 0,0% |
| 1991 | 51,2% | 18,3% | 9,4% | 21,1% | 0,0% | 0,0% |
| 1992 | 25,1% | 59,9% | 4,6% | 10,3% | 0,0% | 0,0% |
| 1993 | 25,0% | 59,7% | 4,6% | 10,7% | 0,0% | 0,0% |
| 1994 | 24,7% | 58,9% | 4,5% | 11,9% | 0,0% | 0,0% |
| 1995 | 28,6% | 53,3% | 7,4% | 10,7% | 0,0% | 0,0% |
| 1996 | 37,0% | 48,6% | 7,3% | 7,0% | 0,0% | 0,0% |
| 1997 | 33,9% | 52,4% | 6,7% | 7,0% | 0,0% | 0,0% |
| 1998 | 34,5% | 49,3% | 6,7% | 9,4% | 0,0% | 0,0% |
| 1999 | 62,2% | 25,4% | 5,3% | 7,1% | 0,0% | 0,0% |
| 2000 | 59,8% | 25,1% | 6,6% | 8,5% | 0,0% | 0,0% |
| 2001 | 40,3% | 16,3% | 9,2% | 5,5% | 28,7% | 0,0% |
| 2002 | 34,2% | 13,5% | 24,0% | 4,5% | 23,8% | 0,0% |
| 2003 | 27,9% | 10,4% | 23,7% | 3,0% | 35,0% | 0,0% |
| 2004 | 21,8% | 7,6% | 18,7% | 2,1% | 49,8% | 0,0% |
| 2005 | 22,4% | 7,0% | 20,2% | 2,4% | 48,1% | 0,0% |
| 2006 | 23,8% | 3,6% | 23,8% | 1,1% | 47,8% | 0,0% |
| 2007 | 22,4% | 3,7% | 25,6% | 1,1% | 47,2% | 0,0% |
| 2008 | 24,1% | 4,1% | 27,4% | 0,4% | 44,0% | 0,0% |
| 2009 | 23,8% | 4,3% | 27,5% | 0,5% | 43,9% | 0,0% |
| 2010 | 23,2% | 4,3% | 28,8% | 0,5% | 43,2% | 0,0% |
| 2011 | 22,5% | 4,0% | 26,8% | 0,4% | 46,3% | 0,0% |
| 2012 | 23,2% | 4,0% | 27,1% | 0,4% | 45,3% | 0,0% |
| 2013 | 24,2% | 4,0% | 27,5% | 0,7% | 43,6% | 0,0% |
| 2014 | 24,1% | 3,7% | 23,7% | 0,4% | 48,0% | 0,0% |
| 2015 | 22,9% | 3,8% | 24,2% | 0,8% | 48,2% | 0,0% |
| 2016 | 23,3% | 3,8% | 24,1% | 0,8% | 48,1% | 0,0% |
| 2017 | 24,1% | 3,6% | 23,7% | 0,6% | 48,0% | 0,0% |
| 2018 | 24,3% | 3,9% | 24,5% | 0,6% | 46,7% | 0,0% |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA con base en SISS

Lodos

El dato de actividad correspondiente al componente orgánico separado como lodo fue entregado directamente por la SISS para la serie 2006-2018. Para estimar la cantidad de lodos generados entre 1990 y 2005 se mantuvo el promedio de los años reportados (2006 y 2007) y se consideró el año de inicio de operación de las distintas plantas. Para el caso de los años reportados, el lodo de cada planta es sumado para obtener el total nacional para cada año. A continuación, se presentan los lodos recuperados por tipo de tratamiento (Tabla 412). Para pasar de volumen de lodo a carga orgánica, se considera una densidad igual a 1 t/m³; 75 % de humedad y un 50 % de carbono orgánico degradable de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, sección 2.3.2 del volumen 5 y un 50 % de DOCf o carbono descomponible.

Tabla 412. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: volumen de lodo separado (S;) por tipo de tratamiento, serie 1990–2018

| Tipo de tratamiento | País (m3/año) | Eliminación en río lago y mar | Planta de tratamiento centralizada aeróbico mal operada | Planta de tratamiento centralizada aeróbico bien operada | Laguna anaeróbica poco profunda | Digestor anaeróbico para lodos | Reactor anaeróbico |
|---------------------|---------------|-------------------------------|---|--|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 1990 | 7.530,7 | 0,0% | 99,9% | 0,0% | 0,1% | 0,0% | 0,0% |
| 1991 | 7.530,7 | 0,0% | 99,9% | 0,0% | 0,1% | 0,0% | 0,0% |
| 1992 | 7.931,3 | 0,0% | 99,9% | 0,0% | 0,1% | 0,0% | 0,0% |
| 1993 | 7.931,3 | 0,0% | 99,9% | 0,0% | 0,1% | 0,0% | 0,0% |
| 1994 | 7.943,4 | 0,0% | 99,8% | 0,0% | 0,2% | 0,0% | 0,0% |
| 1995 | 9.015,2 | 0,0% | 93,4% | 6,4% | 0,2% | 0,0% | 0,0% |
| 1996 | 12.136,7 | 0,0% | 87,9% | 11,8% | 0,3% | 0,0% | 0,0% |
| 1997 | 12.183,8 | 0,0% | 87,9% | 11,8% | 0,3% | 0,0% | 0,0% |
| 1998 | 16.022,4 | 0,7% | 81,5% | 12,7% | 5,1% | 0,0% | 0,0% |
| 1999 | 17.883,9 | 0,6% | 73,0% | 21,7% | 4,6% | 0,0% | 0,0% |
| 2000 | 24.417,0 | 0,4% | 53,5% | 38,4% | 7,7% | 0,0% | 0,0% |
| 2001 | 116.022,0 | 1,4% | 11,3% | 14,4% | 4,0% | 69,0% | 0,0% |
| 2002 | 175.331,8 | 0,9% | 7,5% | 43,4% | 2,6% | 45,6% | 0,0% |
| 2003 | 364.718,1 | 0,4% | 3,6% | 28,0% | 1,3% | 66,7% | 0,0% |
| 2004 | 386.311,3 | 0,4% | 3,4% | 30,2% | 0,9% | 65,0% | 0,0% |
| 2005 | 391.093,1 | 0,4% | 3,4% | 31,1% | 0,9% | 64,2% | 0,0% |
| 2006 | 382.341,4 | 0,5% | 3,0% | 29,5% | 0,9% | 66,1% | 0,0% |
| 2007 | 444.266,5 | 1,0% | 3,0% | 36,9% | 0,0% | 59,0% | 0,0% |
| 2008 | 451.475,3 | 1,2% | 5,2% | 38,9% | 0,5% | 54,2% | 0,0% |
| 2009 | 464.000,0 | 1,3% | 2,8% | 41,4% | 0,1% | 54,6% | 0,0% |
| 2010 | 541.000,0 | 1,2% | 7,9% | 37,4% | 0,0% | 53,5% | 0,0% |
| 2011 | 607.000,0 | 1,1% | 3,5% | 39,7% | 0,0% | 55,7% | 0,0% |
| 2012 | 599.000,0 | 1,0% | 3,1% | 43,2% | 0,0% | 52,7% | 0,0% |
| 2013 | 623.000,0 | 0,9% | 3,9% | 37,0% | 0,1% | 58,1% | 0,0% |
| 2014 | 691.000,0 | 1,0% | 5,3% | 39,6% | 0,1% | 53,9% | 0,0% |
| 2015 | 698.020,8 | 1,1% | 3,4% | 44,6% | 0,1% | 50,9% | 0,0% |
| 2016 | 683.813,0 | 1,1% | 7,6% | 42,7% | 0,0% | 48,5% | 0,0% |
| 2017 | 653.911,6 | 1,1% | 3,1% | 44,8% | 0,0% | 51,0% | 0,0% |
| 2018 | 680.000,0 | 1,1% | 2,8% | 47,5% | 0,0% | 48,6% | 0,0% |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA con base en SISS

Metano recuperado

En Chile existen un total de seis plantas de tratamiento aeróbico de aguas residuales en que se lleva a cabo recuperación y quema de metano. La SISS reporta la producción de biogás en sus informes a partir de 2012 al que se le aplica un porcentaje de contenido de metano que va entre los 55 % y 65 %, dependiendo de la planta. Para poder completar la serie temporal, se estableció una relación entre la carga orgánica tratada por planta y la producción de biogás de acuerdo a los años conocidos. El resultado de metano recuperado y quemado se observa en la Tabla 413.

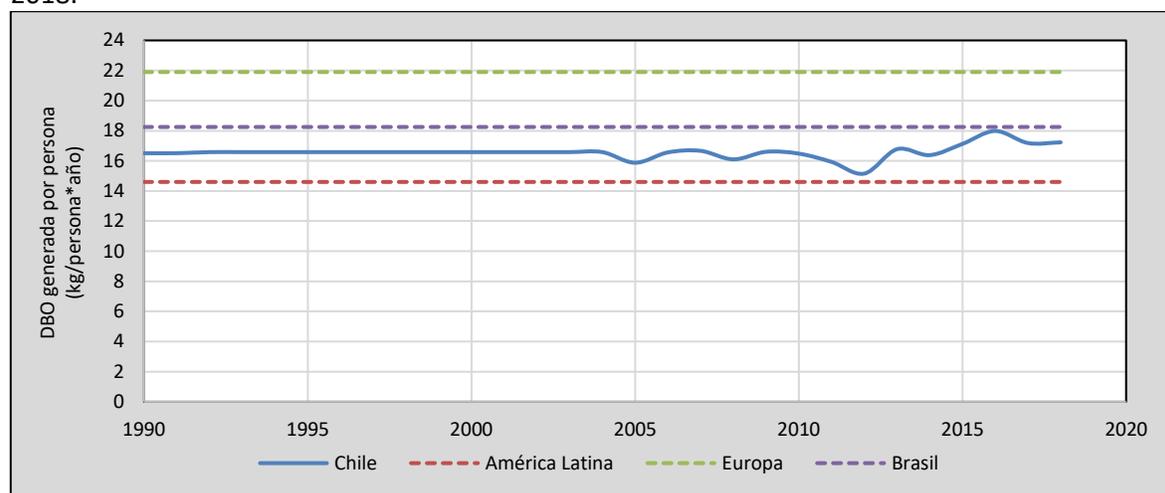
Tabla 413. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: metano recuperado (kt CH₄/año), serie 1990-2018

| Año | Metano recuperado (kt CH ₄ /año) |
|------|---|
| 1990 | 0,0 |
| 1991 | 0,0 |
| 1992 | 0,0 |
| 1993 | 0,0 |
| 1994 | 0,0 |
| 1995 | 0,0 |
| 1996 | 0,0 |
| 1997 | 0,0 |
| 1998 | 0,0 |
| 1999 | 0,0 |
| 2000 | 0,0 |
| 2001 | 0,6 |
| 2002 | 4,6 |
| 2003 | 8,2 |
| 2004 | 16,9 |
| 2005 | 14,6 |
| 2006 | 17,4 |
| 2007 | 16,8 |
| 2008 | 16,0 |
| 2009 | 16,9 |
| 2010 | 19,2 |
| 2011 | 20,0 |
| 2012 | 21,3 |
| 2013 | 22,8 |
| 2014 | 23,0 |
| 2015 | 24,3 |
| 2016 | 25,8 |
| 2017 | 27,0 |
| 2018 | 28,0 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA con base en SISS

Para la DBO per cápita, se utilizaron los datos de DBO/m³ reportados por la SISS para los años 2005 a 2018 por planta por mes, junto con los volúmenes por planta tratado y la población nacional del INE. Para completar la serie hasta 1990 se mantuvo el promedio de DBO per cápita estimado con los valores entre 2005 y 2018 por región y se estimó un valor nacional en base a las poblaciones regionales desde 1990. El resultado se compara con los valores por defecto del IPCC como se observa en la

Figura 193. 5.D.1 Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: Comparación de DBO per cápita nacional con distintas regiones del mundo de acuerdo con valores por defecto, serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA en base a datos de la SISS y a valores por defecto de las *Directrices del IPCC 2006, Volumen 5, capítulo 6, tabla 6.4.*

El factor corrector que se utiliza para considerar el DBO industrial eliminado en las cloacas (*I*) no se aplica ya que la influencia de las industrias ya está reflejado en la DBO estimada a nivel nacional en base a datos medidos por las PTAS.

Consumo de proteína

El consumo de proteína per cápita es necesario para la estimación de emisiones de N_2O . Para contar con dichos datos, se utilizó la información entregada por el Departamento de Nutrición de MINSAL, donde se contaba con datos hasta 2007, por lo cual el resto de la serie fue extrapolada linealmente, teniendo en consideración un factor de crecimiento promedio de los años anteriores. Los resultados se compararon con consumos de otros países de acuerdo con datos de FAO para verificar que se encuentran dentro de un rango aceptable (Tabla 414).

Tabla 414. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: consumo de proteína per cápita (kg/persona/año), serie 1990-2018

| Año | Consumo per cápita (kg/persona/año) |
|------|-------------------------------------|
| 1990 | 25,6 |
| 1991 | 25,6 |
| 1992 | 28,1 |
| 1993 | 28,5 |
| 1994 | 28,5 |
| 1995 | 28,4 |
| 1996 | 28,8 |
| 1997 | 28,5 |
| 1998 | 28,4 |
| 1999 | 28,0 |
| 2000 | 28,7 |
| 2001 | 29,1 |

| Año | Consumo per cápita (kg/persona/año) |
|------|-------------------------------------|
| 2002 | 30,1 |
| 2003 | 30,9 |
| 2004 | 31,3 |
| 2005 | 31,8 |
| 2006 | 32,5 |
| 2007 | 31,8 |
| 2008 | 31,3 |
| 2009 | 30,7 |
| 2010 | 30,4 |
| 2011 | 30,4 |
| 2012 | 30,8 |
| 2013 | 31,3 |
| 2014 | 31,5 |
| 2015 | 31,8 |
| 2016 | 32,1 |
| 2017 | 32,3 |
| 2018 | 32,6 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA con base en MINSAL

7.4.4.3.2. Factores de emisión

El factor de emisión para el metano se estima en función de la capacidad máxima de producción de CH₄ (B₀) y el factor corrector para el CH₄ (MCF) el que depende de cada tipo de tratamiento. El valor de B₀ corresponde a 0,6 kg de CH₄/kg de DBO de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 6.2.2.2.; Capítulo 6; Volumen 5). Los valores de MCF se presentan en la Tabla 415.

Tabla 415. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: factor corrector del metano (MCF) para los diferentes sistemas de descarga y tratamiento.

| Tipo de tratamiento o sistema de descarga | MCF |
|--|-----|
| Cloaca en movimiento | 0,0 |
| Sistema séptico | 0,5 |
| Letrina Clima seco, familia reducida | 0,1 |
| Cloaca estancada | 0,5 |
| Eliminación en río, lago y mar | 0,1 |
| Planta de tratamiento centralizada aeróbico mal operada | 0,3 |
| Planta de tratamiento centralizada aeróbico bien operada | 0,0 |
| Laguna anaeróbica poco profunda | 0,2 |
| Digestor anaeróbico para lodos | 0,8 |
| Reactor anaeróbico | 0,8 |

Fuente: Cuadro 6.3; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices del IPCC 2006*.

El factor de emisión por defecto para las emisiones de N₂O es de 0,005 (kg N₂O-N/kg N) de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 6.3.1.2.; Capítulo 6; Volumen 5). Los valores paramétricos se encuentran en la descripción metodológica (supra).

7.4.4.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de ±78 % para CH₄ y ±101 % para N₂O. En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores

de emisión, por lo que consideraron las recomendadas en las *Directrices del IPCC del 2006* (Cuadro 6.7; Capítulo 6; Volumen 5 para los datos referidos a las emisiones de CH₄; Cuadro 6.11; Capítulo 6; Volumen 5 para los datos referidos a las emisiones de N₂O). Para combinar la incertidumbre de la categoría se tomaron los supuestos y se realizaron cálculos basados en las ecuaciones descritas en los aspectos metodológicos de la subcategoría (3.5.4.3).

Para el metano, primero que todo se calculó la incertidumbre del factor de emisión ponderado combinando los parámetros (B₀, MCF, U y T) mediante la metodología de combinación de incertidumbre - método 1 - para la multiplicación. Como la incertidumbre de los MCF varía de acuerdo al tipo de tratamiento, se hizo el supuesto de que la incertidumbre para todos era la más alta (±50%) para simplificar el cálculo. Mediante la misma fórmula se estimó la incertidumbre de TOW combinando las de P y BOD. La incertidumbre de esta última bajó de 30% a 15% ya que se utilizaron datos país específicos. Luego utilizando la ecuación de combinación de incertidumbre - método 1 - para la suma se agregaron la incertidumbre del Lodo eliminado (S) y el metano recuperado (R) siguiendo la lógica de la Ecuación 35 obteniendo una incertidumbre combinada para la subcategoría para el metano. Las incertidumbres utilizadas en este cálculo se observan en la Tabla 416.

Tabla 416. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: incertidumbre de factores de emisión, parámetros y datos de actividad para la estimación de emisiones de CH₄ 2018.

| | | Incertidumbre |
|---|-------------|---------------|
| Capacidad máxima de producción de CH ₄ (B ₀) | (±)% | 30,0% |
| Factor de corrección de metano (MCF) | (±)% | 50,0% |
| Fracción de la población urbano – rural (U) | (±)% | 15,0% |
| Grado de utilización T _j | (±)% | 50,0% |
| Población (P) | (±)% | 5,0% |
| Componente orgánico degradable (BOD)) | (±)% | 15,0% |
| Lodo eliminado (S _j) | (±)% | 50,0% |
| Metano recuperado y quemado (R _j) | (±)% | 50,0% |
| Incertidumbre combinada | (±)% | 141,6% |

Fuente: Cuadro 6.7; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices del IPCC 2006*.

La incertidumbre para el N₂O se obtuvo utilizando únicamente la ecuación para la multiplicación combinando las incertidumbres del factor de emisión con los parámetros (F_{npr}, F_{nnon-con} y F_{ind-com}) y datos de actividad (P y Proteína) de acuerdo a la metodología descrita en la sección 7.4.3. Las incertidumbres utilizadas en este cálculo se observan en la Tabla 417.

Tabla 417. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: incertidumbre de factores de emisión, parámetros y datos de actividad para la estimación de emisiones de N₂O 2018

| | | Incertidumbre |
|---|------|---------------|
| Fracción de N en la proteína (F _{npr}) | (±)% | 50,0% |
| Factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales (F _{nnon-con}) | (±)% | 50,0% |
| Factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado(F _{ind-com}) | (±)% | 50,0% |

| | | |
|--|------|--------|
| Factor de emisión (kg N ₂ O-N/kg N) | (±)% | 50,0% |
| Población (P) | (±)% | 5,0% |
| Consumo de proteína per cápita (Proteína) | (±)% | 10,0% |
| Incertidumbre combinada | (±)% | 100,6% |

Fuente: Cuadro 6.11; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices del IPCC 2006*.

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre con las ecuaciones del método 1 mencionadas se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

7.4.4.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos para todos los años.

Tanto en datos de la SISS como de la encuesta CASEN se completó la serie ya que no se cuenta con información para cada año. Para esto, siempre se siguió la tendencia lineal de los datos existentes.

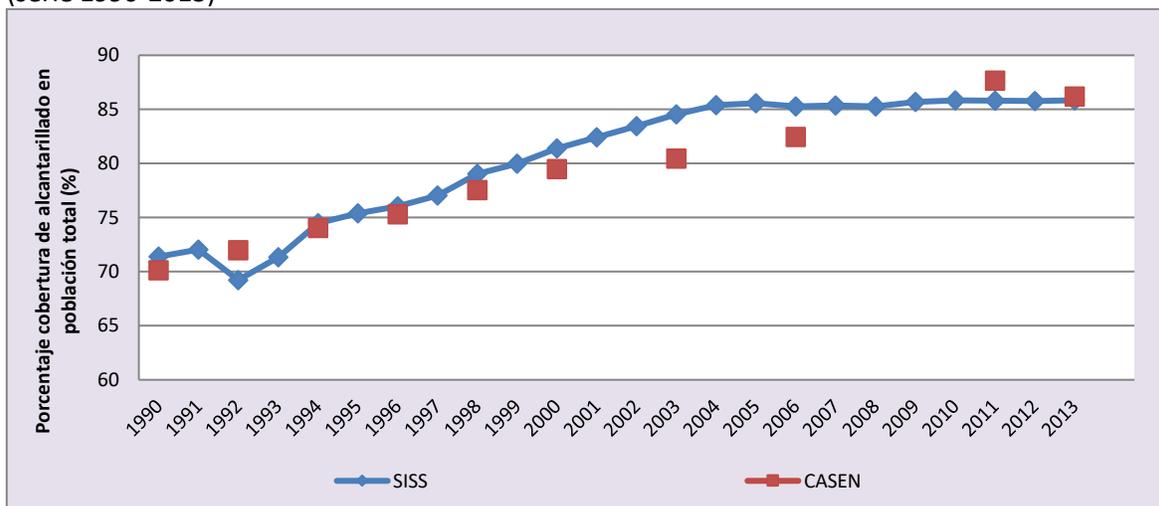
7.4.4.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

7.4.4.6.1. Verificación

Durante la actualización del ISGEI de Residuos se aplicaron los siguientes procedimientos para la verificación de los datos de esta subcategoría:

- Comparación entre porcentaje de cobertura de alcantarillado (aguas servidas recolectadas) de acuerdo con datos de la SISS en contraste con los datos utilizados de las encuestas CASEN. En promedio tienen una diferencia absoluta del 2,3 % para la serie 1990 – 2013 (Figura 194).

Figura 194. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: diferencia entre porcentaje de cobertura de alcantarillado reportado por la SISS y de acuerdo datos de la CASEN (serie 1990-2013)



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.4.4.7. Recálculos

7.4.4.7.1. Justificación de los nuevos cálculos y mejoras

Durante el presente proceso de actualización se realizaron cambios en las fuentes de datos de actividad:

- Población en base a censo 2017
- Uso de distintas tecnologías en PTAS en base a información proporcionada directamente por la SISS.
- Uso de datos de la SISS para estimación de DBO per cápita nacional
- Extrapolación de metano recuperado en base a DBO tratado por planta, mientras que antes se estimaba en base a caudal tratado por planta.

7.4.4.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

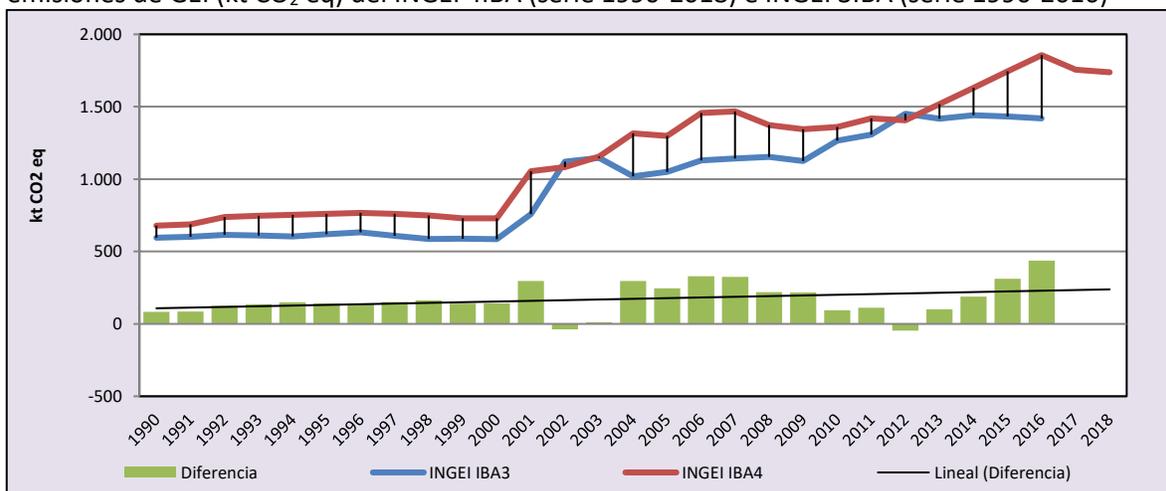
En la Tabla 418 y la Figura 195, se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI 3IBA). Las diferencias se deben a la variación de la TOW, debido al cambio de la fuente de datos de la población y al uso de DBO per cápita nacional que a diferencia del inventario anterior presenta variaciones interanuales mostrando un aumento en 2016; y también a la variación en los porcentajes de utilización de los sistemas de eliminación de aguas servidas debido a la nueva fuente de datos. El aumento promedio de las emisiones de GEI de la subcategoría promedia 169 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2016.

Tabla 418. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|---------|---------|
| INGEI IBA3 | 596,2 | 585,4 | 1.265,1 | 1.416,8 | 1.419,5 | | |
| INGEI IBA4 | 678,7 | 728,2 | 1.359,4 | 1.518,3 | 1.856,2 | 1.756,0 | 1.738,0 |
| Diferencia | 82,6 | 142,9 | 94,3 | 101,4 | 436,7 | | |
| Diferencia % | 12,2% | 19,6% | 6,9% | 6,7% | 23,5% | | |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 195. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.4.4.8. Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Residuos las mejoras planificadas de la subcategoría son las siguientes:

- Desarrollar un plan de trabajo con RETC para coordinar esfuerzos en tratamiento de datos de la SISS y la SMA.
- Buscar datos más recientes sobre consumo de proteína por persona.
- Implementar metodología de las Refinements que consideran el tratamiento de previo a los lodos y agrega emisiones de la carga orgánica en la disposición final en cuerpos de agua

7.4.5. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales (5.D.2.)

7.4.5.1. Descripción de la subcategoría

La subcategoría *Tratamiento de aguas residuales industriales* considera las emisiones de CH₄ procedentes del tratamiento *in situ* de aguas residuales industriales. Sólo produce CH₄ el agua residual que contiene significativas cargas de carbono y que se trata bajo condiciones anaeróbicas, sean éstas previstas o no.

En el contexto nacional, es competencia de la SISS la fiscalización de establecimientos generadores de aguas residuales industriales desde 2006, año en que se hace plenamente exigible el D.S N° 90/00: “Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales”. A partir de 2013 dicha competencia pasa a la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), la que cumple con controlar los parámetros establecidos por esta normativa en cada uno de los establecimientos generadores de aguas residuales industriales en el país.

7.4.5.2. Tendencia de las emisiones de GEI

En 2018, las emisiones de GEI de esta categoría contabilizaron 358 kt CO₂ eq, (representando el 17 % de las emisiones de la categoría) aumentando en un 713 % desde 1990 y en un 23 % desde 2016 (Tabla 404 y Figura 190). El principal causante del crecimiento en emisiones es el aumento de DQO generada por las distintas industrias asociada al aumento de producción y al uso de tratamientos anaeróbicos y, por lo tanto, la mayor generación de metano. Se destaca la participación de la industria del papel y la celulosa y al procesamiento de pescado.

7.4.5.3. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de la subcategoría *Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales* se utilizó una metodología de Nivel 2 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, con datos de actividad y parámetros país específicos y factores de emisión por defecto. La metodología es muy similar a la usada para estimar las emisiones de CH₄ de las aguas residuales domésticas, sin embargo, esta tiene base en la DQO y no en la DBO. La metodología, que busca estimar las emisiones para cada sector de manera separada, se describe paso a paso a continuación.

- 1) Se debe estimar el total de carbono degradable de manera orgánica en las aguas servidas (TOW) para cada sector industrial *i*. Para ello se utiliza la ecuación siguiente:

Ecuación 36. 5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales: materia orgánica degradable en las aguas residuales industriales.

$$TOW_i = W_i \cdot COD_i$$

Fuente: basada en Ecuación 6.6; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- TOW_{*i*}: total de materia orgánica en las aguas residuales de la industria *i* del año del inventario, kg de DQO/año.
- W_{*i*}: aguas residuales generadas, m³/año por la industria *i*.

- COD_i: DQO, kg de DQO/m³.
- i: sector industrial.

- 2) Determinar las vías y los sistemas de tratamiento según los datos del país, para estimar el factor de emisión en función de la capacidad máxima de producción de CH₄ (B₀) y el factor corrector para el CH₄ (MCF) promedio ponderado de la industria respectiva. De acuerdo a lo anterior, el factor de emisión para cada sistema, se calcula a partir de la Ecuación 6.5; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.
- 3) Estimar las emisiones en función de la carga orgánica; el factor asociado; el lodo total removido; y el metano total recuperado para cada sector industrial. Lo anterior se expresa más claramente en la Ecuación 6.4; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

7.4.5.3.1. Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los principales datos de actividad para la estimación de emisiones de CH₄ de la subcategoría provienen directamente de la SISS, entidad reguladora durante 2006-2012. A partir de 2013, la SMA es la encargada de la recolección de dicha información.

Los datos de volumen generado anualmente (m³/año) por industria y su respectivo DBO para la serie 2006 - 2018, provienen de los reportes de la SMA y la SISS. Para extrapolar los caudales se utilizó una relación con el PIB de *Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca*. Los valores se pueden encontrar en el anexo 10.02.

En el contexto nacional es habitual que las empresas reporten la DBO de sus caudales. Ante la falta de valores referenciales para la DQO, se optó por usar los valores presentes en las *Directrices del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*, en donde se indica un valor típico para la DQO y para la DBO (Tabla 419).

Tabla 419. 5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales: valores de DBO y DQO por industria.

| Tipo de industria | DBO (g/l) | DQO (g/l) | DQO/DBO |
|-------------------------------|-----------|-----------|---------|
| Refinerías de alcohol | 3,0 | 11,0 | 3,7 |
| Malta y cerveza | 1,5 | 2,9 | 1,9 |
| Café | 5,4 | 9,0 | 1,7 |
| Productos lácteos | 2,4 | 2,7 | 1,1 |
| Procesamiento del pescado | 1,5 | 2,5 | 1,7 |
| Carnes y aves | 2,5 | 4,1 | 1,6 |
| Sustancias químicas orgánicas | 1,1 | 3,0 | 2,7 |
| Refinerías de petróleo | 0,4 | 1,0 | 2,5 |
| Plásticos y resinas | 1,4 | 3,7 | 2,6 |
| Pulpa y papel (combinados) | 0,4 | 9,0 | 22,5 |
| Jabón y detergentes | 0,3 | 1,2 | 4,0 |
| Producción de almidón | 2,0 | 10,0 | 5,0 |
| Refinación del azúcar | 2,0 | 3,2 | 1,6 |
| Aceites vegetales | 0,5 | 1,2 | 2,4 |
| Vegetales, frutas y jugos | 1,0 | 5,0 | 5,0 |
| Vinos y vinagres | 0,7 | 1,5 | 2,1 |

Fuente: Cuadro 5.4; Capítulo 5, de las *Directrices del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*

Con estos valores se puede establecer una relación simple entre dichos parámetros, la que permite estimar la DQO para las aguas residuales industriales del país entre 2006-2018. Para completar el resto de la serie se utilizó el promedio entre dichos años.

La información sobre tipo de tratamiento, se obtiene a partir de datos reportados por las empresas sobre gasto ambiental, en que se indica la inversión por año realizada para el tratamiento de RILES, además del tipo de tratamiento llevado a cabo y el año de puesta en marcha. En base a estos datos, se caracterizan los tipos de tratamiento por sector industrial. Cabe destacar que no todas las empresas reportan, por lo que esta caracterización se hace en base a las empresas que si han reportado. Cuando una empresa reporta más de un tipo de tratamiento se considera el más anaeróbico. La homologación entre los equipos de control reportados y los tratamientos del IPCC se observan en la Tabla 420. Y los resultados por industria en el Anexo 10.02.

Tabla 420. 5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales: factor corrector del metano (MCF) para los diferentes sistemas de descarga y tratamiento

| Tipo equipo control | homologo IPCC | MCF |
|---|--|-----|
| Lodos Activados | Planta de tratamiento centralizada aeróbico bien operada | 0,0 |
| flotación por Aire Disuelto (DAF) | | |
| Lombrifiltro | | |
| Reactor aeróbico de Lecho Fijo Sumergible (RALFS) | | |
| Enhanced biological phosphorus removal (EBPR) | | |
| Lodos Activados +complemento Nt | | |
| Reactores Biológicos de Membrana (MBR) | | |
| Electrooxidacion | Complementaria* (etapa de proceso que no interviene en grado de anaerobia) | 0,0 |
| Declaración | | |
| Intercambio iónico | | |
| Intercambiador de Calor | | |
| Torres de Enfriamiento | Eliminación en río lago y mar | 0,1 |
| Prefiltracion | | |
| Osmosis Inversa | | |
| Nanofiltracion | | |
| Skimmer | | |
| Adsorcion con diferentes materiales | | |
| Filtros SAF (Filtros Automatizados Sofisticados) | | |
| Bekosplit | | |
| Adsorcion con Carbon Activado | | |
| Extraccion por Solvente | | |
| Ultrafiltracion | | |
| Filtros Rotatorios | | |
| Clarificación | | |
| Separadores por Gravedad y Sedimentación | | |
| Wetlands | | |
| Coalescencia | Planta de tratamiento centralizada aeróbico mal operada | 0,3 |
| Lagunas Aireadas | | |
| Arrastre por Aire (Air Stripping) | | |
| Oxidacion con Aire húmedo | | |

| | | |
|---|--------------------------------|-----|
| Precipitación química | | |
| Reactor Anaerobico | Reactor anaeróbico | 0,8 |
| Oxidacion Avanzada Catalitica (POAs) | | |
| Reactores Biologicos Secuenciales (SBR) | Digestor anaeróbico para lodos | 0,8 |

Fuente: Cuadro 6.8; Capítulo 6; Volumen 5; Directrices del IPCC de 2006

Para los lodos se utilizaron datos reportados en SINADER entre 2014 y 2018 de lodos generados por tipo de industria. Luego se extrapolaron en base a una relación con el caudal tratado. Valores se reportan en la siguiente tabla.

Tabla 421. 5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales: lodos removidos de las plantas de tratamiento de RILES (t/año), serie 1990 – 2018.

| Lodos generados por tratamiento de riles | Vegetales, frutas y jugos, t/año | Pulpa y papel (combinados), t/año |
|--|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1990 | 0,0 | 0,0 |
| 1991 | 0,0 | 3.669,3 |
| 1992 | 0,0 | 8.821,8 |
| 1993 | 0,0 | 8.175,0 |
| 1994 | 0,0 | 8.740,6 |
| 1995 | 5.127,1 | 15.674,6 |
| 1996 | 10.360,5 | 21.116,1 |
| 1997 | 19.706,9 | 22.951,7 |
| 1998 | 34.033,7 | 28.902,3 |
| 1999 | 38.739,8 | 26.319,1 |
| 2000 | 40.825,2 | 31.202,9 |
| 2001 | 32.424,5 | 23.324,4 |
| 2002 | 35.817,1 | 23.052,7 |
| 2003 | 45.186,0 | 29.303,1 |
| 2004 | 63.887,9 | 50.081,8 |
| 2005 | 92.942,3 | 63.143,3 |
| 2006 | 174.394,2 | 145.462,0 |
| 2007 | 120.076,2 | 174.525,0 |
| 2008 | 18.971,4 | 178.985,7 |
| 2009 | 856.589,8 | 89.011,9 |
| 2010 | 71.042,7 | 152.031,7 |
| 2011 | 160.147,3 | 204.849,5 |
| 2012 | 1.070.653,8 | 155.443,0 |
| 2013 | 138.160,1 | 132.709,9 |
| 2014 | 97.249,6 | 226.878,7 |
| 2015 | 208.100,0 | 171.233,0 |
| 2016 | 165.791,3 | 184.845,1 |
| 2017 | 276.164,2 | 235.934,5 |
| 2018 | 152.311,0 | 301.504,6 |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Se levantaron datos de metano recuperado en base al diseño de plantas, sin embargo, no se utilizaron ya que los valores de diseño son considerablemente mayores que las emisiones totales estimadas. Se consideró que la captura de metano en las plantas de tratamiento de RILES es cero. Es necesario revisar los valores o bien levantar datos directamente con las empresas correspondientes.

7.4.5.3.2. Factores de emisión

El factor de emisión se estima en función a la capacidad máxima de producción de CH₄ (B₀) y el factor corrector para el CH₄ (MCF) el que depende de cada tipo de tratamiento. El valor de B₀ corresponde a 0,25 kg de CH₄/kg de DQO de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 6.2.2.2; Capítulo 6; Volumen 5). Los valores de MCF se presentan en la Tabla 420.

7.4.5.4. Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de -115 % y +94 %. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que se consideraron las recomendadas en las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 6.10; Capítulo 6; Volumen 5, para los datos de actividad, y 6.7; Capítulo 6; Volumen 5, para los factores de emisión). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 422.

Tabla 422. 4.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales: resumen incertidumbre combinada, 2018

| Código IPCC | Categoría del IPCC | Gas | Incertidumbre en los datos de actividad | | Incertidumbre en el factor de emisión | | Incertidumbre combinada | |
|-------------|---|-----------------|---|------|---------------------------------------|------|-------------------------|-------|
| | | | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% | (-)% | (+)% |
| 4.D.2. | Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales | CH ₄ | 99% | 73% | 58% | 58% | 115,3% | 93,8% |

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 02.

Se concluye de la tabla anterior que la mayor fuente de incertidumbre corresponde a la relacionada con los datos de actividad.

7.4.5.5. Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

7.4.5.6. Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

7.4.5.6.1. Verificación

No se aplicaron procedimientos de verificación a esta subcategoría.

7.4.5.7. Recálculos

7.4.5.7.1. Justificación de los nuevos cálculos y mejoras

Se efectuó un recálculo asociado a la incorporación de datos de lodos y a la utilización de datos de gasto ambiental para los tipos de tratamiento por sector industrial, lo que anteriormente se había realizado considerando el criterio de un experto. Este cambio incorpora mayor variedad de tipos de tratamientos, lo que hace subir el nivel de descomposición anaeróbica.

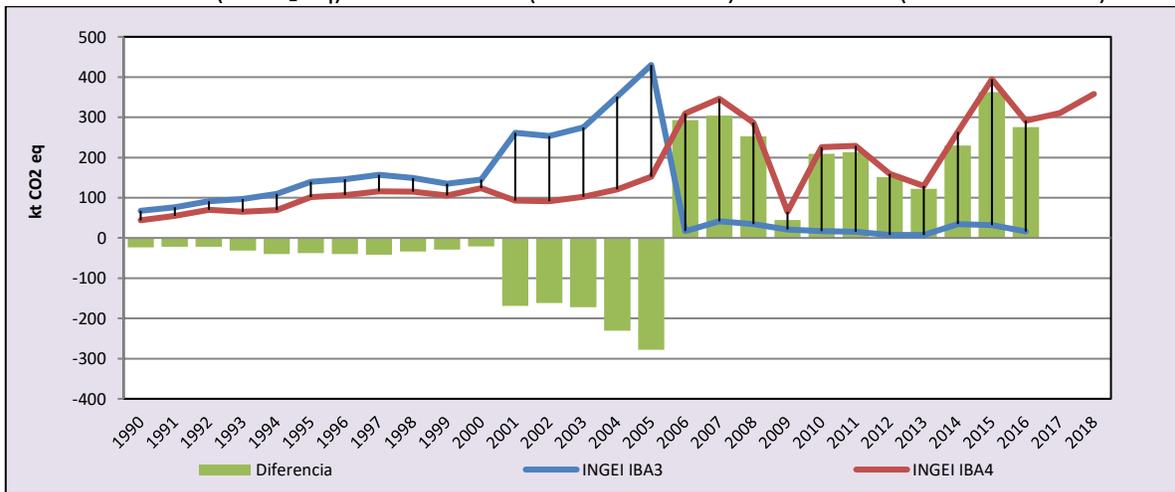
7.4.5.7.2. Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 423 y Figura 196 se observa como variaron las emisiones de GEI de la subcategoría con respecto al inventario anterior (INGEI 3IBA). Las diferencias se deben principalmente a los tipos de tratamiento considerados.

Tabla 423. 5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)

| Categoría | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| INGEI IBA3 | 67,4 | 144,9 | 16,6 | 7,4 | 15,8 | | |
| INGEI IBA4 | 44,0 | 123,6 | 225,8 | 129,4 | 291,1 | 310,8 | 357,6 |
| Diferencia | -23,4 | -21,3 | 209,3 | 122,0 | 275,3 | | |
| Diferencia % | -53,2% | -17,2% | 92,7% | 94,3% | 94,6% | | |

Figura 196. 5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 4IBA (serie 1990-2018) e INGEI 3IBA (serie 1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.4.5.8. Plan de mejoramiento

- Evaluar metano recuperado, para poder considerarlo en la estimación
- Revisar relación DQO/DBO, en base a los datos reportados por las principales industrias (por ejemplo, en reportes de las plantas de celulosa se reportan la DQO y la DBO)
- Considerar la eficiencia de los tratamientos para aplicar a la DBO reportada, ya que la reportada es la de salida del tratamiento y no la de entrada.

8. RECÁLCULOS

Los cambios metodológicos y el refinamiento de los datos de actividad son parte esencial de la mejora de la calidad de los inventarios; pero cuando esto ocurre, es una buena práctica recalcular toda la serie de tiempo para garantizar su coherencia. A continuación, se justificarán los nuevos cálculos y su implicancia para las emisiones y absorciones de GEI del país.

8.1. Recálculos en el INGEI de Chile

Tanto el actual INGEI de Chile (INGEI 1990-2018 o INGEI 4IBA) como el anterior (INGEI 1990-2016 o INGEI 3IBA), que fue presentado por el país ante Naciones Unidas el 2016 como parte de su *Tercer Informe Bienal de Actualización*, se elaboraron siguiendo los lineamientos de las *Directrices del IPCC de 2006*. Para la elaboración del presente INGEI de Chile se ha recurrido, en todos los sectores, a nuevas fuentes de información junto a su respectivo refinamiento metodológico. Además, se desarrollaron nuevos factores de emisión país específicos en los sectores de IPPU y Energía, y se incorporaron nuevas fuentes y sumideros en Residuos y UTCUTS, lo que generó diferencias entre las magnitudes de GEI previamente notificadas.

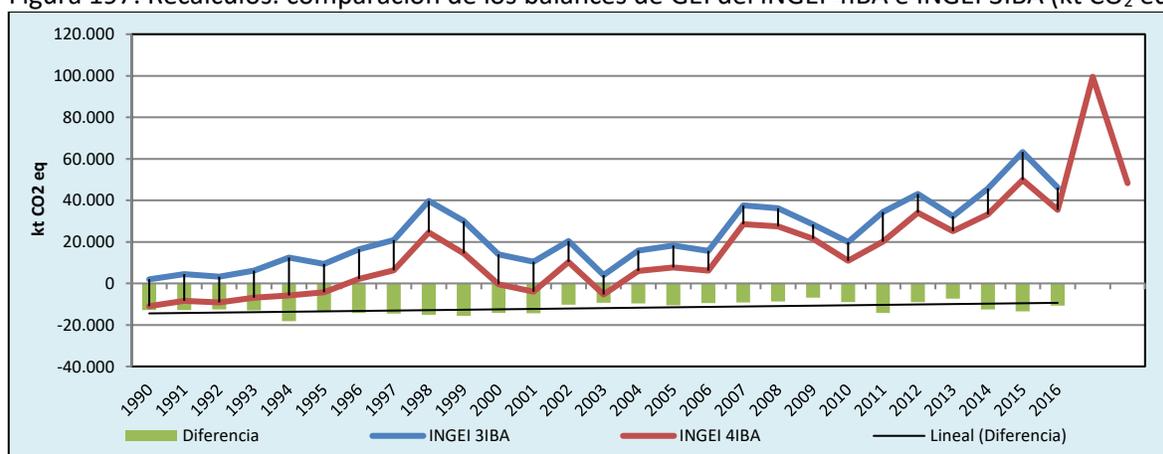
En general, el balance de GEI del INGEI 4IBA muestra una disminución (tendiente a la absorción de CO₂) entre 1990 y 2016 —promediando los 11.906 kt CO₂ eq anuales— en comparación con el INGEI 3IBA, y una disminución de 23 % para 2016, último año comparable (Tabla 424 y Figura 197). Esta tendencia se atribuye principalmente a un aumento de la absorción de CO₂ del sector UTCUTS debido a la inclusión (por primera vez) de la categoría *4.G. Productos de la madera recolectada* y también a la refinación de algunos supuestos y valores relacionados. Si bien los otros sectores del INGEI de Chile presentan variaciones, los cambios en el sector UTCUTS equivalen a magnitudes de GEI que impactan notoriamente en la tendencia del balance general.

Tabla 424. Recálculos: comparación de los balances de GEI del INGEI 4IBA e INGEI 3IBA (kt CO₂ eq)

| INGEI | 1990 | 2000 | 2010 | 2013 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|--------|--------|
| INGEI 3IBA | 1.955 | 13.910 | 19.931 | 32.417 | 46.185 | | |
| INGEI 4IBA | -10.943 | -363 | 10.976 | 25.117 | 35.458 | 99.505 | 48.321 |
| Diferencia | -12.898 | -14.273 | -8.956 | -7.300 | -10.727 | | |

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

Figura 197. Recálculos: comparación de los balances de GEI del INGEI 4IBA e INGEI 3IBA (kt CO₂ eq)

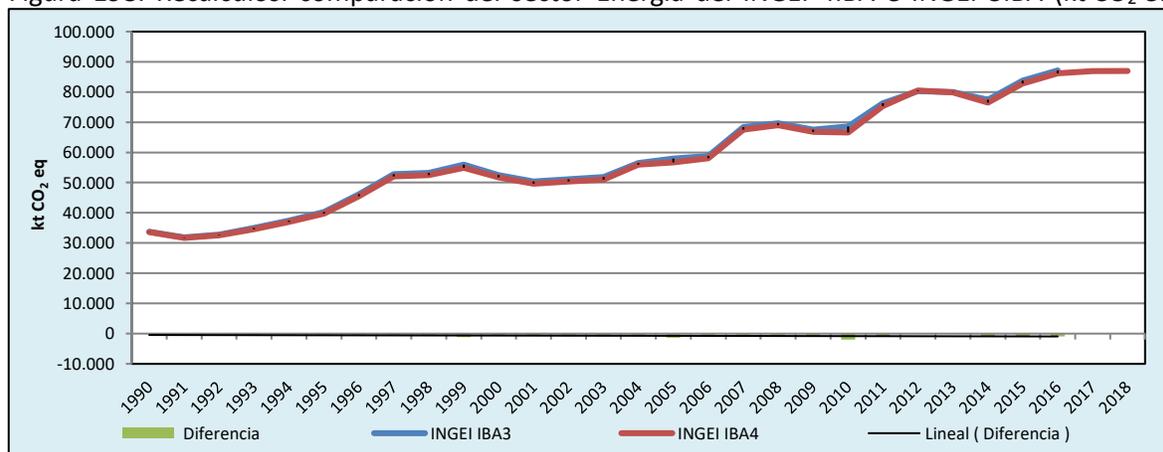


Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

8.2. Recálculos en el sector Energía

En el sector Energía (Figura 198), las emisiones del sector en el INGEI 4IBA presentan una disminución promedio anual de 690,3 kt CO₂ eq entre 1990 y 2016 en comparación con el INGEI 3IBA. Si bien no se evidencian mayores cambios en la tendencia, existe una disminución a lo largo de la serie respecto a la versión INGEI 3IBA. El año que presenta una mayor diferencia corresponde al 2010, en donde se alcanzaron las 2.015,8 kt CO₂ eq de diferencia, debido principalmente a correcciones en el consumo de gas natural y diésel en minas varias de la categoría 1.A.2.i. *Minería*, junto con modificaciones en el consumo de fuelóleo residual dentro de 1.A.3.b. *Transporte terrestre*. Las otras modificaciones que afectaron a la serie están relacionadas con la variación de los datos del consumo de biomasa en 1.A.4.b. *Residencial* entre 1990 y 2009, junto con la separación de consumos del coque de petróleo respecto a los del coque metalúrgico para 1.A.2.a. *Hierro y acero*.

Figura 198. Recálculos: comparación del sector Energía del INGEI 4IBA e INGEI 3IBA (kt CO₂ eq)

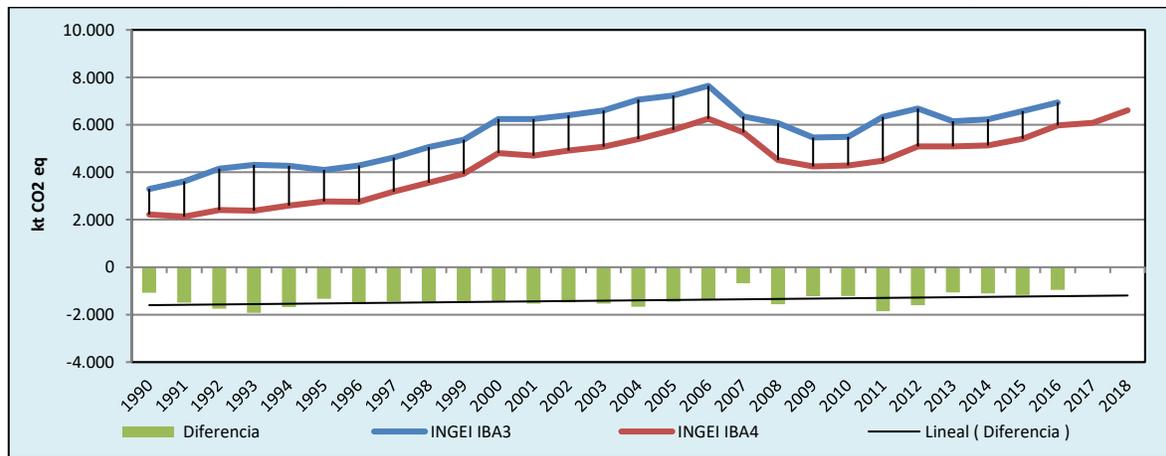


Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

8.3. Recálculos en el sector IPPU

En el sector IPPU (Figura 199), las emisiones de GEI del sector en el INGEI 4IBA presentan una disminución promedio anual de 1.409,8 kt CO₂ eq entre 1990-2016 en comparación con el INGEI 3IBA. Si bien no existen mayores cambios en la tendencia, las diferencias a la baja se mantienen durante toda la serie. Esto se atribuye principalmente a los cambios realizados en la asignación de emisiones de energéticos utilizados en la 2.C.1. *Producción hierro y acero*. Además, se mejoró la metodología para estimar las emisiones de la subcategoría 2.B.2. *Producción de ácido nítrico*, incorporándose la información reportada en los proyectos MDL que considera tecnologías de abatimiento de N₂O (lo que disminuye las emisiones especialmente a partir de 2007). Es importante mencionar que, si bien las categorías mencionadas disminuyen sus emisiones debido a los cambios descritos, la categoría 2.F. *Uso de productos sustitutos de las SAO* presenta un incremento respecto al inventario anterior debido al cambio en los datos de actividad para esta categoría para toda la serie temporal, incluyéndose también los PFC. Otros cambios realizados fue la incorporación de la subcategoría 2.C.5. *Producción de plomo*, lo que refleja el avance en la exhaustividad del sector.

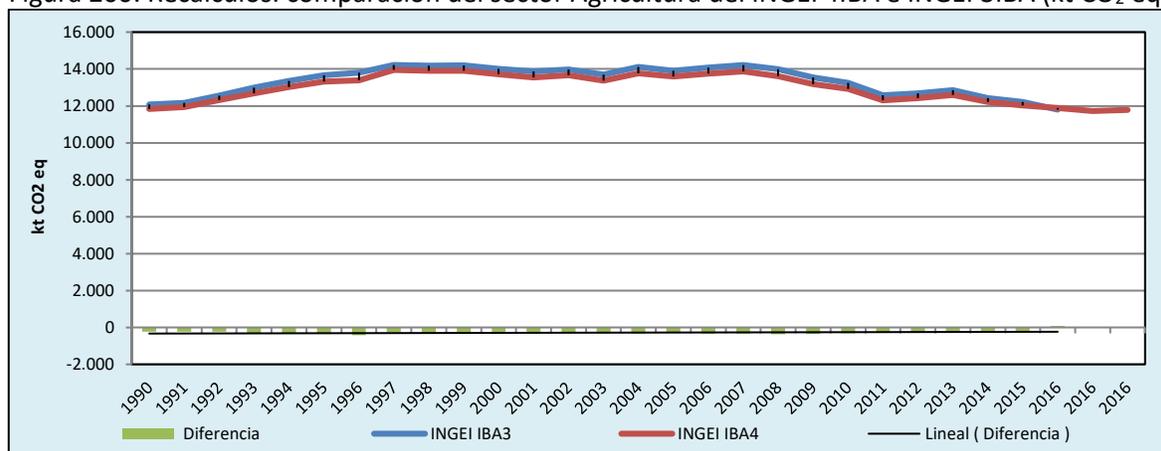
Figura 199. Recálculos: comparación del sector IPPU del INGEI 4IBA e INGEI 3IBA (kt CO₂ eq)



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

8.4. Recálculos en el sector Agricultura

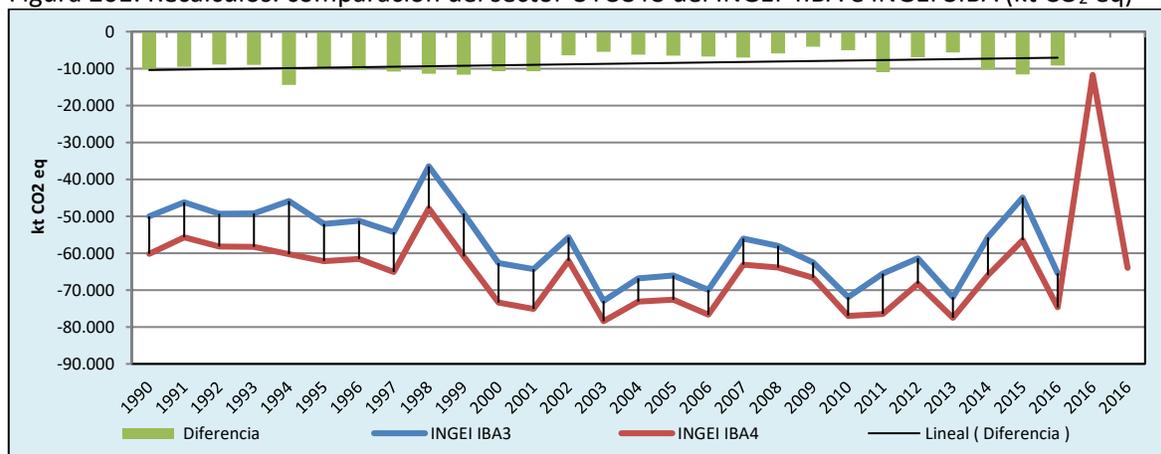
En el sector Agricultura (Figura 200), las emisiones de GEI del sector en el INGEI 4IBA presentan una disminución promedio anual de 284,2 kt CO₂ eq entre 1990-2016 en comparación con el INGEI 3IBA. Si bien se realizaron diferentes ajustes a datos de actividad y parámetros del sector, como los relacionados con la estimación de emisiones de N₂O de los suelos agrícolas o por mejorar la desagregación de información regional, no se efectuaron cambios metodológicos notorios, lo que explica la baja variación respecto al INGEI anterior.

Figura 200. Recálculos: comparación del sector Agricultura del INGEI 4IBA e INGEI 3IBA (kt CO₂ eq)

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

8.5. Recálculos en el sector UTCUTS

En el sector UTCUTS (Figura 201), el balance de GEI del INGEI 4IBA presenta un importante aumento de la absorción neta, con un promedio anual de -8.725,7 kt CO₂ eq entre 1990-2016 en comparación con el INGEI 3IBA. La diferencia de la serie se atribuye a que en el sector se hicieron varias mejoras en la gestión de los datos de actividad, se incluyeron nuevos sumideros y se desarrollaron nuevos factores de emisión país específico. En particular la inclusión de la categoría *4.G. Productos de la madera recolectada* aumenta la absorción total del sector, explicando el aumento promedio respecto a la serie anterior.

Figura 201. Recálculos: comparación del sector UTCUTS del INGEI 4IBA e INGEI 3IBA (kt CO₂ eq)

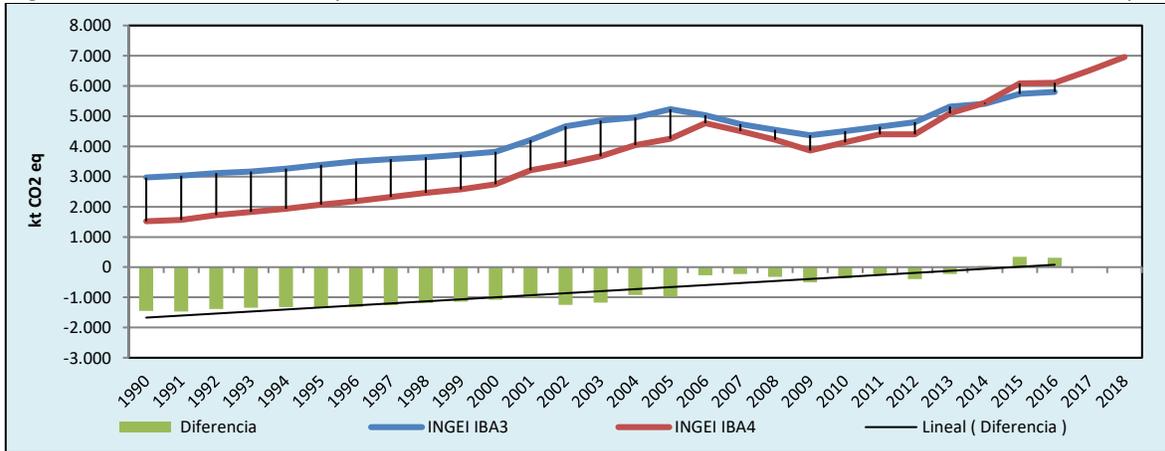
Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

8.6. Recálculos en el sector Residuos

En el sector Residuos (Figura 202), las emisiones de GEI del INGEI 4IBA presentaron en general una disminución promedio anual de 795,9 kt CO₂ eq entre 1990-2016 en comparación con el INGEI 3IBA, sin embargo, es de tener en consideración que entre 2014-2016 la del actual INGEI está por sobre de las emisiones del INGEI anterior. La diferencia en la serie se atribuye principalmente a la mejora metodológica en la categoría *5.A. Disposición de residuos sólidos*, cambio que en los primeros años

de la serie provoca una disminución respecto al INGEI 3IBA debido a cambios en los MCF y, posteriormente se muestra un aumento respecto a la serie anterior debido a la incorporación de residuos industriales.

Figura 202. Recálculos: comparación del sector Residuos del INGEI 4IBA e INGEI 3IBA (kt CO₂ eq)



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA.

9. REFERENCIAS

Circunstancias nacionales

- Banco Central. (2020). Banco Central Base de Datos Estadísticos, sector externo. Recuperado de: https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_BDP/MN_BDP42/BP6M_EXPORT/BP6M_EXPORT?cbFechaInicio=2009&cbFechaTermino=2020&cbFrecuencia=ANNUAL&cbCalculo=NONE&cbFechaBase=
- Banco Central de Chile. (2020). Banco Central Base de Datos Estadísticos, cuentas nacionales. Recuperado de https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN2013_P1/CCNN2013_P1?cbFechaInicio=2019&cbFechaTermino=2020&cbFrecuencia=ANNUAL&cbCalculo=NONE&cbFechaBase=
- DGA. (2020). Decretos de escasez vigentes octubre 2020. Santiago: Dirección General de Aguas. Recuperado de: <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx>
- Gobierno de Chile. (2020). Inversión como motor generador de empleos. Recuperado de: <https://www.gob.cl/chileserecupera/inversion/>
- INE. (2017). Censo 2017. Recuperado de INE, Censo 2017. Recuperado de: http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2017/12/Presentacion_Resultados_Definitivos_Censo2017.pdf
- INE. (2018). Encuesta Suplementaria de Ingresos. Recuperado de: <https://www.ine.cl/estadisticas/sociales/ingresos-y-gastos/encuesta-suplementaria-de-ingresos>
- Ministerio de Defensa Nacional. (2010). El Estado de Chile. Ministerio de Defensa Nacional. Recuperado de: https://www.defensa.cl/media/2010_libro_de_la_defensa_1.pdf
- MIDESO. (2016). Casen 2015. Ampliando la mirada sobre la pobreza e igualdad. Recuperado de: MIDESO: http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen-multidimensional/casen/casen_2015.php
- MIDESO. (2018). Encuesta Casen 2006-2017. Recuperado de: http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen-multidimensional/casen/docs/Presentacion_Sintesis_de_Resultados_Casen_2017.pdf
- MMA. (2019). Quinto Reporte del Estado del Medio Ambiente. Recuperado de: <https://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/>
- MMA. (2020). Guía de Calidad del Aire y Educación Ambiental. Recuperado de: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf>
- Ministerio de Salud. (2020). COVID-19: Chile registra 1.054 casos nuevos, la cifra más baja desde el 2 de mayo. Recuperado de: <https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2020/09/CP-REPORTE-COVID-19-Martes-22092020.pdf>
- PNUD. (2018). Índices e indicadores de Desarrollo Humano. Actualización estadística de 2018. Recuperado de: http://hdr.undp.org/sites/default/files/2018_human_development_statistical_update_es.pdf
- OCDE. (2020). Salud Ambiental y resiliencia ante las pandemias. Recuperado de: <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/salud-ambiental-y-resiliencia-ante-las-pandemias-3788e625/>

General

- CMNUCC. (2012). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 17º período de sesiones, celebrado en Durban del 28 de noviembre al 11 de diciembre de 2011.
- CMNUCC. (2011). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 16º período de sesiones, celebrado en Cancún del 29 de noviembre al 10 de diciembre de 2010.
- CMNUCC. (2006). Directrices actualizadas de la Convención Marco para la presentación de informes sobre los inventarios anuales, tras la incorporación prevista en la decisión 14/CP.11.
- CMNUCC. (2003). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 8º período de sesiones, celebrado en Nueva Delhi del 23 de octubre al 1 de noviembre de 2002.
- CMNUCC. (2002). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 7º período de sesiones, celebrado en Marrakech del 29 de octubre al 10 de noviembre del 2001.
- EEA. (2016). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report No 21/2016, ISSN 1977-8449, Recuperado el 2018 de <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>
- EPA. (2011). Desarrollando un Sistema de Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, Plantillas de Ejercicio.
- INE. (2004) Chile: Estimaciones y proyecciones de población por sexo y edad - país urbano rural 1990 - 2020. Recuperado el 2018 de http://www.ine.cl/docs/default-source/demogr%C3%A1ficas-y-vitales/demograf%C3%ADa/proyeccion-vigente/documentos-antiguos/microsoftwordinforp_ur.pdf?sfvrsn=6
- INE. (2017) ESTIMACIONES Y PROYECCIONES DE LA POBLACION DE CHILE, TOTAL PAÍS. 1992-2060 (actualizado al 2017)
- IPCC. (2006). Directrices IPCC para la elaboración de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
- IPCC. (2007). IPCC Fourth Assessment Report.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2018). Tercer Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático. Santiago.
- NACIONES UNIDAS. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- OCDE. (2003). Current status of national inventory preparation in annex I parties and non-annex I parties.
- PNUD. (2005). Managing the National Greenhouse Gas Inventory Process. Recuperado el 2018 de <http://www.undp.org/>
- United Nations Environment Programme (UNEP) y Climate and Clean Air Coalition (CCAC) (Abril, 2018), Integrated Assessment of Short-Lived Climate Pollutants in Latin America and the Caribbean, Improving air quality while contributing to climate change mitigation ISBN: 978-92-807-3549-9.

Sector Energía

- AIE. (2020). Chile: Indicators 1990 - 2017. Recuperado el 2020 de <http://www.iea.org/statistics/statisticsearch/report/?year=2012&country=CHILE&product=Indicators>
- AIE. (2020). Chile: Electricity and Heat 1990 - 2017. Recuperado el 2020, de <http://www.iea.org/statistics/statisticsearch/report/?year=2012&country=CHILE&product=ElectricityandHeat>

Banco mundial. (2018). Transporte aéreo, pasajeros transportados. Chile. Recuperado el 2018, de <https://datos.bancomundial.org/indicador/IS.AIR.PSGR?locations=CL&start=1990>

Cámara marítima y portuaria de Chile. (2017), Memoria anual n° 74. Recuperado el 2018 de <http://www.camport.cl/sitio/wp-content/uploads/2018/05/Camport-Ma-2017.pdf>

COCHILCO. (2018). Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1999-2018. Recuperado el 2020, de <https://www.cochilco.cl/Lists/Anuario/Attachments/20/AE2019avance.pdf>

Ministerio de Energía. (Todos los años disponibles). Balance Nacional de Energía. Recuperado el 2020, de <http://energiaabierta.cl/>

Ministerio del Medio Ambiente. (2016). Inventario nacional de gases de efecto invernadero de Chile, serie temporal 1990-2013. Santiago.

SISTEMAS SUSTENTABLES. (2010). Desarrollo de una metodología local de cálculo de emisiones búnker para gases de efecto invernadero.

Junta Aeronáutica Civil (2018-2017) Estadísticas históricas, recuperado el 2020 de <http://www.jac.gob.cl/estadisticas/estadisticas-historicas/>

Sector Procesos industriales y uso de productos

Asociación de Industriales Químicos. (2015). Guía de la Industria Química 2014-2016. Recuperado el 2018 de <http://www.asiquim.com/nwebq/guia-de-la-industria-quimica/>

Banco Central de Chile. (2020). Cuentas Nacionales de Chile 1990 – 2018. Recuperado el 2020 de <https://www.bcentral.cl/web/banco-central/areas/estadisticas/cuentas-nacionales-anuales>

COCHILCO. (2019) Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1999-2018. Recuperado el 2020, de <https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Publicaciones/Anuario.aspx>

INE. (2016). Encuesta Nacional Industrial Anual. Recuperado el 2018 de <https://datosabiertos.ine.cl/dashboards/20608/enia/>

Methanex. (2012). Obtenido de <http://www.methanex.cl/noticias/2013/noticia0313a.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente. (2018). Inventario nacional de gases de efecto invernadero de Chile, serie temporal 1990-2016. Santiago.

Ministerio del Medio Ambiente. (2017). Elaboración de Inventario Nacional de Hidrofluorocarbonos (HFC), Informe final. Santiago.

Ministerio del Medio Ambiente. (2019). Elaboración de Inventario Individualizado Nacional de Hidrofluorocarbonos (HFC), Informe final. Santiago.

Perry's Chemical Engineers' Handbook; séptima edición, 1997; Perry R., Green, D.

SERNAGEOMIN. (2007-2018). Anuario de la Minería de Chile. Recuperado el 2020, de <https://www.sernageomin.cl/anuario-de-la-mineria-de-chile/>

Servicio Nacional de Aduanas. (s.f.). Arancel aduanero vigente desde 2012. Recuperado el 2015, de <http://www.aduana.cl/arancel-aduanero-vigente/aduana/2011-12-22/114144.html>

Servicio Nacional de Aduanas. (s.f.). Arancel aduanero vigente desde 2017. Recuperado el 2020, de <https://www.aduana.cl/arancel-aduanero-vigente/aduana/2016-12-30/090118.html>

U.S. Geological Survey. (1994-2015). The Mineral Industry of Chile. Recuperado el 2018, de <https://www.usgs.gov/media/files/mineral-industry-chile-2015-xlsx>

World steel association (2020) Chile Steel Production 1980-2020 Recuperado el 2020 de <https://tradingeconomics.com/chile/steel-production>

Sector Agricultura

- Acuña, D. y Pizarro, M. (2019). La industria porcina en Chile: oportunidades y desafíos para la sustentabilidad. Oficina de Estudio y Políticas Agrarias (ODEPA), Chile. 14p.
- Calvache, I. (2009). Variación anual de la concentración de proteína y grasa láctea en rebaños lecheros del centro y sur de Chile (tesis magíster). Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia – Chile.
- Cárdenas, L.M., Hatch, D.J., Scholefield, D., Jhurreea, D., Clark, I.M., Hirsh, P.R., SALAZAR, F., Rao-Ravella and Alfaro, M. 2013. Potential mineralisation and nitrification in volcanic grassland soils in Chile. *Soil Science and Plant Nutrition* 59(3): 380-391.
- Carvajal, A.M, Vargas, R.A, y Alfaro, M. 2016. Abundance of denitrifying genes and microbial community structure in volcanic soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 16 (3): 677-688, <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162016005000049>
- CONAF. 2009. Reglamento para Quemadas Agrícolas Controladas. Permisos de quema agrícola otorgados. Available at <http://www.mag.go.cr/legislacion/2009/de-35368.pdf> (Accesado Junio 2020).
- Dixon, L., Cárdenas, L., Alfaro, M., Salazar, F. and Hatch, D. 2011. High rates of nitrogen cycling in volcanic soils from Chilean grasslands. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 25:1-6.
- Donoso, G. y Paredes, M. 2015. Efecto de las bajas temperaturas en el cultivo del arroz (pp: 18-21). En: M. Paredes, V. Becerra, (eds.). *Manual de producción de Arroz: Buenas prácticas Agrícolas*. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 306.
- Donoso, G., Paredes, M., Uribe, H., Saavedra, F., Parfitt, J., Carracelas, G., y Osorio, A. 2015. Manejo del agua: alcances y desafíos (pp: 59-61). En: M. Paredes, V. Becerra, (eds.). *Manual de producción de Arroz: Buenas prácticas Agrícolas*. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 306.
- Hirzel, J. 2015. Nuevos antecedentes en la fertilización nitrogenada (pp: 43-50). En: M. Paredes, V. Becerra, (eds.). *Manual de producción de Arroz: Buenas prácticas Agrícolas*. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 306.
- Hube, S., Alfaro, M., Scheer, C., Brunk, C., Ramírez, L., Rowlings, D., Grace, P. 2016. Effect of nitrification and urease inhibitors on nitrous oxide and methane emissions from an oat crop in a volcanic ash soil. *Agric., Ecosys. and Environ.* doi:10.1016/j.agee.2016.06.040
- INE. 2007. VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal. Available at <https://www.ine.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios> (Accessed June 2020).
- INIA. 2010. Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero para Chile en los sectores Agricultura, Uso de suelo, cambio en el uso de suelo y silvicultura, y Residuos antrópicos. Proyecto PNUD 43740. Informe final. 192 p. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago, Chile.
- Manterola, H., D. Cerda, J. Mira. 1999. Los residuos agrícolas y su uso en la alimentación de rumiantes. 225 p. Fundación para la Innovación Agraria (FIA), Ministerio de Agricultura., Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2016. Informe del inventario nacional de gases de efecto invernadero de Chile, serie 1990-2013. Versión 2.0. 517 p. Departamento de Mitigación e Inventarios de Contaminantes Climáticos. División de Cambio Climático, Santiago, Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2018). Inventario nacional de gases de efecto invernadero de Chile, serie temporal 1990-2016. Santiago.

- ODEPA. 2016. Información nacional de superficie sembrada, producción y rendimiento anuales. Available at <http://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas> (Accessed June 2020).
- ODEPA. 2019. Catastro vitícola nacional. Available at <http://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/catastros-fruticolas/catastro-viticola-nacional> (Accesado Junio 2020).
- ODEPA. 2019. Catastro Frutícola. Available at <http://icet.odepa.cl> (Accesado Junio 2020).
- ODEPA. 2019. Estadísticas de ganado. Available at <http://icet.odepa.cl> (Accesado Junio 2020).
- ODEPA. 2019. Estadísticas de hortalizas. Available at <http://icet.odepa.cl> (Accesado Junio 2020).
- ODEPA. 2019. Estadísticas de Vacas leche. Available at <http://icet.odepa.cl/> (Accesado Junio 2020).
- ODEPA. 2019. Estadísticas de Vacunos carne. Available at <http://icet.odepa.cl/> (Accesado Junio 2020).
- ODEPA. 1990-2018. Existencia de porcinos. Available at <http://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas> (Accesado Junio 2020).
- ODEPA. 1990-2018. Estadísticas productivas. Available at <http://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas> (Accesado Junio 2020).
- ODEPA. 1998-2018. Importaciones y Exportaciones de Fertilizantes. Available at <http://www.odepa.gob.cl/series-anales-por-producto-de-exportaciones-importaciones> (Accesado Junio 2020).
- ODEPA. 1998-2018. Importaciones y Exportaciones de Urea. Available at <http://www.odepa.gob.cl/series-anales-por-producto-de-exportaciones-importaciones> (Accesado Junio 2020).
- Prado, J., S. Barros. 1989. Eucalyptus. Principios de silvicultura y manejo. 199 p. Instituto Forestal, División Silvicultura. Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), Santiago, Chile.
- Rodríguez, J. 1994. Manual de fertilización. Colección en Agricultura. 362 p. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.
- Salazar, F. 2012. Manual de manejo y utilización de purines de lechería. 116 p. Consorcio Lechero S. A., Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Osorno, Chile.
- Salazar, F., Martínez- Lagos, J., Alfaro, M. and Misselbrook, T. 2012. Low nitrogen leaching losses following a high rate of dairy slurry and urea application to pasture on a volcanic soil in Southern Chile. *Agriculture Ecosystems and Environment* 160: 23-28.
- Teuber, N. 2009. Praderas permanentes en las zonas lecheras de Chile. Curvas de crecimiento, distribución y producción. 62 p. Consorcio Lechero S.A., Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Osorno, Chile.
- Vistoso, E., Alfaro, M., Saggat, S., Salazar, F. 2012. Effect of nitrogen Inhibitors on nitrous oxide emissions and pasture growth following an autumn application in a volcanic soil. *Chilean J Agric Res* 72(1):133-139.
- Wylie, W. 2011. Caracterización del balance de carbono: El caso de la fruticultura chilena de exportación y posibilidades de mitigar las emisiones de CO₂. Código D0711040. Informe final. 116 p. Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF), Santiago, Chile.

Sector Uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura

- Albornoz, A., Alegría, D., Cortés, F., Gimeno, F., Moya, J., (2017). INFORME TÉCNICO CONAF-SIMEF: Protocolo metodológico para la elaboración de mapas de uso y cambios de uso de la tierra. p 90 (POR PUBLICAR).
- Cairns, M., Brown, S., Helmer, E., & Baumgardner, G. (1997). Root biomass allocation in the worlds upland forests. *Oecologia*, 111, 1–11.

- CDT. (2015). Medición del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de la Madera. 205p.
- CONAF. (2013). Sistema Nacional de Areas silvestres protegidas por el Estado (SNASPE). Disponible en <https://ide.minagri.gob.cl>.
- CONAF. (2019): Elaborado por CONAF a partir de la represnetación de tierras para el INGEI Sector UTCUTS Serie 1990-2018.
- CONAF. (s.f.). Estadísticas histórico Incendios Forestales
- CONAF y CONAMA. (1999). Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe con variables ambientales.
- Coomes, D., & Grubb, P. (2000). Impacts of root competition in forests and woodlands: a theoretical framework and review of experiments. *Ecol. Monogr.*, 70, 171–207.
- Davel, M., & Jovanovski, A. &. (2005). Densidad básica de la madera de pino oregón y su relación con las condiciones de crecimiento en la Patagonia Andina Argentina. *Bosque* 26(3), 55-62. FAO. (s.f.). Fertilizantes. Recuperado el 2015, de FAOSTAT Domains: http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/R/*/S FAO. (s.f.).
- Etienne M. y Prado C., (1982). Descripción de la vegetación mediante la cartografía de ocupación de tierras. *Ciencias Agrícolas* N° 10, Universidad de Chile, Fac. de Cs. Agrarias y Forestales / UNESCO- MAB. 120 p.
- Gómez-Lobo, A., Lima, J.L., Hill, C., Meneses, M. (2006). Diagnóstico del Mercado de la Leña en Chile. Informe Final preparado para la Comisión Nacional de Energía de Chile. Centro Micro Datos, Departamento de Economía, Universidad de Chile. Disponible en http://www.sinia.cl/1292/articles-50791_informe_final.pdf Accessed April 2016.
- Gayoso, J., Chile, U. A., & INFOR. (2002). Proyecto FONDEF: Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Inventario de biomasa y contabilidad de carbono. Informe Técnico.
- Gayoso, J., Guerra, J., & Alarcón, D. (2002). Proyecto FONDEF: Medición de la capacidad de captura de carbono en bosque de Chile y promoción en el mercado mundial. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Informe Técnico.
- Gayoso, 2006. Inventario de carbono en praderas y matorrales para el estudio de línea de base. Proyecto SIF Sociedad Inversora Forestal S. A. Regiones VII y VIII. 38 p.
- Gorrini, B., Poblete, H., & Hernández, G. &. (2004). Tableros de partículas y MDF de Eucalyptus nitens: Ensayos a escala industrial. *Bosque* 25(3), 89-97.
- Hernández, G., & Pillina J. (2010). Propiedades de la madera de especies forestales nativas y exóticas en Chile. Monografías Concepción, Chile: INFOR. Informe Técnico N° 178.
- INE. (2007). VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal.
- INFOR. (Todos los años disponibles). Anuario Forestal. INFOR. (Todos los años disponibles). Boletín Estadístico. Estadísticas Forestales. Santiago, Chile.
- INFOR. (2019a). Anuario Forestal 2019. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N° 168. 208 p.
- INFOR. (2019b). INFOR, 2019. Sistema de monitoreo del consumo de leña y otros biocombustibles sólidos. Base de datos no publicada.
- INFOR. (2014). Los recursos Forestales en Chile, Informe Final Inventario Continuo de Bosque Nativos y Actualización de plantaciones forestales. 265p.
- INFOR. (2013). Disponibilidad de Madera de Plantaciones de Pino Radiata y Eucalipto (2010-2040). Informe Técnico N° 194. 77 p.
- INFOR. (2015). Los recursos forestales en Chile. Informe final: Inventario continuo de bosques nativos y actualización de plantaciones forestales. 195 p.
- INFOR. (2007a). Disponibilidad de madera de Eucalyptus en Chile 2006-2025. Informe Técnico N°173. 57 p.

- INFOR. (2007b). Inventario de los Bosque de Alerce. 166 p.
- INFOR. (2005). Disponibilidad de madera de plantaciones de *Pinus radiata* en Chile 2003-2032. Informe Técnico N°170. 103 p.
- INFOR. (1994). Evaluación del consumo de leña en Chile 1992. Informe técnico N° 130. Santiago, Chile, 56 p.
- INFOR. (2011). Los Recursos Forestales en Chile. Inventario continuo de bosques nativos y actualización de plantaciones forestales. Informe final. 306 p.
- INFOR y CORFO (1986). Especies forestales de interés económico para Chile.
- INFOR y CONAF (1997). Monografía. *Populus* spp. Potencialidad de Especies y Sitios para una Diversificación Silvícola nacional. 133 p.
- Jin, S., Yang, L., Danielson, P., Homer, C., Xian, G., & Fry, J. (2013). A comprehensive change detection method for updating the National Land Cover Database to circa 2011. *Remote Sensing of Environment*, 159-175.
- Jovanovski, A.; Davel, M. & D. Mohr-Bell. (2005). Densidad Básica de la madera de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en la Patagonia. *Invest. Agrar: Sist Recur For* 14(2): 153-160.
- Kangas A. (1991). Updated measurement data as prior information in forest Inventory. *Silva Fennica* 1991, Vol 25 N°3:180-191.
- Kininmonth, J.A. & L.J. Whitehouse. (1991). Properties and Uses of New Zealand radiata pine. Volumen one-Wood properties. Chapter 6 Ian Bryce Printers Ltd., Rotorua, New Zealand.
- Loewe, M.; Toral, M.; Fernández, M.P.; Pineda, G.; López, C. & E. Urquieta. (1997). Monografía de Álamo (*Populus* spp.). INFOR-CONAF. Proyecto "Potencialidad de especies y sitios para una Diversificación silvícola nacional". Santiago de Chile. 145 p.
- MMA. (2011). Ministerio del Medio Ambiente. 2011. Segunda Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Melo, R.; Paz, J.; Solis, A.; Carrasco, V.; Rojas, M.; Rivera, G. & A. Barriga. (1981). Evaluación de los Recursos Fibrosos en la Subregión Andina. Suplemento Parte II: "Los Eucaliptos en Chile". Organización de Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Proyecto Especial de Celulosa y Papel. Lab. de Productos Forestales, Instituto de Investigación Tecnológica. Escuela de Ingeniería, Universidad de Concepción. 39 p.
- Mujica, R. (2003). Estudios sobre tratamientos silvícolas en Chile. En "Los bosques de *Araucaria araucana* en Chile y Argentina". TWF-40s. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, GTZ. p. 3-80.
- Prado, J.A. & S. Barros. (1989). *Eucalyptus*. Principios de silvicultura y manejo. Santiago, Chile, INFOR. División Silvicultura; CORFO. 199 p.
- Poblete, H. (2002). Estudio técnico de la utilización de *Eucalyptus nitens* en la fabricación de contrachapados: ensayo con trozas basales y segundas. Informe de Convenio. Universidad Austral de Chile- Forestal Mininco S.A., 42 p.
- Pérez, V. (1982). Propiedades mecánicas y asociadas del Pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*) creciendo en Chile. Informe Técnico 85. Instituto Forestal. Santiago, Chile. 17 p.
- Pérez, V. (1983). Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Santiago, Chile. Proyecto CONAF/PNUD/FAO - CHI 76/003. Documento de Trabajo N°47. 451 p.
- Peredo, M. (2000). Utilización Industrial de la Madera de *Eucalyptus*. In: Reyes (ed). I Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo de Productos Forestales. 16-20 octubre 2000. Concepción, Chile. Pp. 79-87.
- Rojas, P.; Aravena, M. & L. Cid. 1993. Primeros Resultados de Floración y Producción de semillas de *E. nitens*. En: Actas Simposio Los Eucaliptos en el Desarrollo Forestal de Chile. INFOR. Pucón, Chile (24-26 de noviembre. pp: 97-107.

- Rozas, C. (2002). Resultados tecnológicos proyecto FONDEF: Diversificación y aprovechamiento de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* para su utilización en la industria del mueble. Concepción.
- Rozas, C.; Sánchez, r. & P. Pinedo. (2005). Secado de *Eucalyptus nitens* y *globulus* y su aprovechamiento en blocks, pisos y muebles. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 7(2):109-120.
- Scheuder, T., Gregoire, T., Wood. G. (1993) Métodos de muestreo para el inventario forestal de múltiples fuentes.
- Torricelli, A. & Torricelli, E. 1942. La madera. Imprenta La Sud Americana. Santiago, Chile.

Sector Residuos

- Aguas Andinas (s.f) Memorias, Biogás Producido (m3) La Farfana, Tralbal-Mapocho. Recuperado en 2020 de <https://www.aguasandinasinversionistas.cl/es/informacion-financiera/memorias>
- CEPAL (2019) PIB Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca (Millones de dólares), recuperado el 2020 de <https://cepalstat-prod.cepal.org/cepalstat/tabulador/ConsultaIntegrada.asp?IdAplicacion=6&idTema=131&idIndicador=2215&idioma=e>
- CMNUCC. (s.f.). Reporte de monitoreo de proyectos MDL. Recuperado el 2013, de <http://cdm.unfccc.int/Projects>
- CONAMA. (2008). Catastro de Instalaciones Final de Residuos Sólidos Domiciliarios.
- CONAMA. (2000). Catastro de Sitios de Instalaciones de Disposición Final de RSD, años 1996 y 2000.
- ECOAMERICA. (2012). Segundo Catastro de Sitios de Disposición Final, Gestión y Tratamiento de Residuos Sólidos, Domiciliarios e Industriales.
- Energía Abierta. (2019). Listado de proyectos de Biogás que inyectan energía eléctrica al sistema bajo la Ley Generación Distribuida o como PMGD.
- ESSBIO. (2018). Memoria Anual 2018.
- Fundación Chile. (2010). Consultoría de apoyo a los procesos de normas ambientales en sistemas hídricos: Estimación de costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos.
- INE. (2017). Síntesis de resultados Censo 2017.
- INE. (13 de 09 de 2019). ESTIMACIONES Y PROYECCIONES DE LA POBLACION DE CHILE, TOTAL PAÍS 1992-2050 EN BASE A CENSO 2017. Obtenido de INE: <http://www.censo2017.cl/descargas/proyecciones/estimaciones-y-proyecciones-chile-1992-2050-base-2017-poblacion-e-indicacores.xlsx>
- INE. (S/I). Chile: Proyecciones y estimaciones de población. Total país 1950-2050. Santiago: Instituto Nacional de Estadísticas.
- IPCC. (2019). Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories .
- MIDESO (1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2003, 2006, 2001, 2013 y 2015) Encuesta CASEN, Cuadro 8. Distribución de hogares según región y sistema de eliminación de excretas. Recuperado el 2018 de <http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/>
- Ministerio de Salud, Depto. de Nutrición y Alimentos. (2007). Disponibilidad de proteínas en Chile 1990 – 2007.
- Ministerio del Medio Ambiente (2019) Consultoría para la Mejora de la Información Utilizada en la Estimación de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Sector Residuos. Santiago. Elaborado por EBP Chile SpA.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2018). Inventario nacional de gases de efecto invernadero de Chile, serie temporal 1990-2016. Santiago.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2014). Ajuste del Catastro de Residuos Sólidos Municipales, Serie Temporal 1990-2012.

- Ministerio del Medio Ambiente. (2012). Catastro de incineración de residuos hospitalarios, cadáveres y restos humanos.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2012). Diagnósticos regionales sitios de disposición final de residuos.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2011). Informe del Estado del Medio Ambiente.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2009). Primer reporte sobre manejo de residuos sólidos en Chile.
- OCDE. (2012). Reporte de generación y recolección de residuos municipales 2011 y 2012.
- PUCV. (2012). Grupo de Residuos Sólidos: Levantamiento y análisis de la generación y manejo de residuos orgánicos en comunas de Chile y la presentación de propuestas para su valorización.
- RETC (2014, 2015, 2016, 2017 y 2018) Residuos (Disposición fuera de sitio), Generador de residuos municipales, datos .xls, Recuperado el 2020 de <https://datosretc.mma.gob.cl/dataset/residuos>
- RETC (2014, 2015, 2016, 2017 y 2018) Residuos (Disposición fuera de sitio), Generación de residuos no peligrosos, datos .xls, Recuperado el 2020 de <https://datosretc.mma.gob.cl/dataset/residuos>
- SISS. (2013). Catastro Biogás recuperado y quemado por plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel nacional año 2012.
- SISS. (2013). Catastro lodos generado por plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel nacional años 2010 y 2011.
- SISS. (2013). Catastro plantas de tratamiento de RILes a nivel nacional, años 2006-2010.
- SISS. (s.f.). Coberturas del sector sanitario 1990- 2016. Recuperado el 2018, de <http://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6415.html>
- SISS. (s.f.). Informes de gestión del sector sanitario 1996 - 1999. Recuperado el 2015, de <http://www.siss.gob.cl/577/w3-propertyvalue-3443.html>
- SISS. (s.f.). Informes de gestión del sector sanitario 2000 - 2018. Recuperado el 2020 de, <http://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6415.html>
- SMA. (2015). Catastro plantas tratamiento de RILes a nivel nacional años 2013.
- Subdere (2017) Línea Base Diagnóstico y Catastro de RSD año 2017, recuperado en 2020 de <http://www.subdere.gov.cl/content/!%C3%ADnea-base-diagn%C3%B3stico-y-catastro-de-rsd-a-%C3%B1o-2017>
- Subdere (2012, 2015) Catastro Nacional RSD, datos .xls
- Tchobanoglous, G., L., B. F., & David, S. H. (2003). Wastewater engineering: treatment and reuse. Boston, Estados Unidos: Metcalf & Eddy, Inc. McGraw-Hill, Boston, United States.
- Kaza, Silpa; Yao, Lisa C.; Bhada-Tata, Perinaz; Van Woerden, Frank. 2018. What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development;. Washington, DC: World Bank. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
License: CC BY 3.0 IGO.